

排水用トラップの破封防止に関する研究

坂 上 恭 助

A Study on Prevention of Seal Break for Waste Traps

Kyosuke SAKAUE

Abstract

The object of a drainage system in a building is to convey smoothly the waste outside the building, and the most important requirement for it is to prevent the gases in drains from going into a room. As the means for this requirement, a water-seal trap is provided under a plumbing fixture, and a waste-venting system should be constructed so that the seal can hold unbroken. The main causes of a seal break are induced siphonage, self-siphonage and evaporation. Nevertheless, the designing of waste-venting system in Japan are systematized only in consideration of induced siphonage. The permissible pressure in drains (± 25 mmAq) has been prescribed by the Heating, Air-conditioning and Sanitary Standard (HASS 206), but the basis of this value is not clear, and it has been pointed out that a design using this value tend to be excessive. Therefore, for the intention of establishing adequate and economical design methods it is necessary to explain first the characteristics of the phenomena of seal loss and to define the performances of traps which are the basis of waste-venting systems.

From the above-mentioned viewpoint, the purpose of this paper is to explain characteristics of induced siphonage, self-siphonage and evaporation by theoretical and experimental analyses and to propose the basic sizes and the shapes of traps effective to the prevention of seal break.

This paper consists of five chapters. Chapter 1, an introduction, discusses historical changes of the waste-venting systems being now adopted in various countries and different ideas underlying them, then analyzes the present conditions of waste-venting systems in Japan, pointing out that a trap should be the basis of the system, and finally the purpose of this paper is presented and evaluated.

In chapter 2, situations of seal break caused by induced siphonage are shown in experiments, and it is pointed out that the limit of the seal break should be indicated by the critical velocity defined by a natural period of the trap seal and the seal depth. Next, with regard to a natural period and damping ratio of the trap seal a comparison was made between the experimental result above and the calculated results obtained by the mathematical models concerning the trap of the same and different diameters, and it is shown that the mathematical models approximate well the action of the seal. It is made clear from the results of simulations to which triangle pulses and sinusoidal waves are given that a trap of the same diameter can easily break the seal by resonance even under the permissible pressure in drains (± 25 mmAq), but traps of different diameters do not under the ordinary pressure in drains. Then, the relevancy between the characteristics of vibration of a trap seal and the spectra obtained by spectral analyses of the pressure raised actually in a waste-venting system is examined. And it is described that the adoption of traps of different diameters having the shapes whose damping ratio is larger and whose volume ratio is bigger than 1.0 is effective for creating preventive methods against induced siphonage in addition to decreasing the absolute value of the pressure in drains.

In chapter 3, the efficiency of the piping elements constituting *P*-trap is examined through experiments in seal break occurred by self-siphonage, and seal break-resisting performance in connection with various trap's shapes is estimated in view of the characteristics of these flow phases and a residual seal rate. Then, the

efficiency of the bottle trap, which had the best performance among them, is examined in regard to various piping conditions and it becomes clear that seal break to be caused by self-siphonage can be surely prevented by means of adopting a bottle trap rather than by piping methods made for its prevention.

In chapter 4, the influence of changes in the radius of cylinder vessels modeled on a trap, and the propriety of the evaporative equation made from the empirical equation and from the theoretical equation of the evaporation-loss in time of filling with water is confirmed. And the water level of the evaporation-loss of P-trap varying with two types of the room climate is calculated, which results in the fact that the heating term brings the greatest evaporation-loss (about 0.7 mm/day) and the period of duration of a trap with the seal depth of 25 mm before breaking is about five weeks.

Chapter 5, in conclusion of this paper, presents problems relative to the design methods of the waste-venting system and the better methods of the system in view of a relevancy between it and the trap are indicated, and after discussing the characteristics of the various phenomena of the seal loss, proposes the basic sizes and the shapes of traps effective to prevent seal break.

第1章 序 論

建物内排水設備は、不快な臭気を含む排水管や下水管内のガスが室内に侵入しないようにすることが必要である。この条件に対する手段として水封式トラップが衛生器具に備えられており、その封水が破封しないように排水・通気システムは構成される。破封の主なる原因は誘導サイホン作用、自己サイホン作用および蒸発であるが、我国の排水・通気システムの設計方法は誘導サイホン作用のみを対象に体系づけられている。建設省告示1597号では排水管内の許容圧力値を $\pm 25\text{mmAq}$ と規定しているが¹⁾、その値の根拠は不明であり、過大な設計を強いている恐れがある。適切かつ経済的な設計方法を確立するためには、トラップの諸封水損失現象のメカニズムを明らかにし、排水・通気システムの基本となるトラップの性能を明確にすることが必要である。本論文は、これらの観点から、誘導サイホン作用、自己サイホン作用および蒸発の特性をそれぞれ実験と理論解析によって明らかにし、破封防止に有効なトラップの形状とその基本寸法を提案したものである。

本章では、現在各国で採用されている排水・通気システムの変遷とそれらの差違を明らかにするとともに、我国の排水・通気システムの現状を分析し、トラップが排水・通気システムの設計の基本になることを指摘し、本論文の位置づけと研究目的を述べている。

1.1 排水設備の変遷と現状^{2), 3), 4)}

排水を位置差のみのエネルギーで搬送するいわゆる自然流下方式の排水管路システムの源流はエジプト、メソポタミア、エーゲ等の古代文明までさかのぼることができる。17世紀までは、排水管の管材に青銅や鋳鉄が加えられる他は排水システムに大きな変化はみられなかった。産業革命を背景に都市化が進み、幾多の水系伝染病

を経験した18世紀のイギリスにおいて出現した下水道と水洗式大便器の普及によって、排水システムは近代的なシステムとしての第1歩を踏み出した。

19世紀になると、種々の水洗式大便器がイギリス、フランスおよびアメリカで考案されたが、結局水封式トラップを備えた便器に統一される。この水封式トラップが防臭装置として他の衛生器具にも備えられるようになり、その封水をサイホン式作用から保護するために通気管が排水システムに組み込まれるようになった。19世紀末には合流式だけでなく、汚水と雑排水とを分流する排水方式がイギリスで採用されるようになり、ほぼこの頃水封式トラップと通気管を備えた近代的な排水・通気システムの概念が定着したと推測される。

20世紀以後、この概念は通気管の機能をめぐってヨーロッパとアメリカとで別々の考え方へと展開し、その過程の中で各々独自の設計方法が確立していく。

ヨーロッパにおいては、単一立て管方式 (Single Stack System) と呼ばれる合流式、伸頂通気管のみの排水システムが主流になり、平方根法と呼ばれる排水負荷算定法を用いた管径決定方法がイギリスで開発され、ドイツ、フランス、オランダ、スイス、北欧諸国へと伝搬していった^{5) 6) 7) 8) 9) 10)}。そして、高層化する建物に対応するための単一立て管方式の改良システムが1960年代にスイス (ソベントシステム) とフランス (セクスチャシステム) で開発されアメリカのシステムに比べて省資源型であるために、急速にヨーロッパのみならずアメリカや我国においても採用されるようになった。

一方アメリカでは、第1次大戦後アメリカ規格協会の設立にもとまって給排水設備の標準化が要請されるようになり、標準局を中心として精力的に研究が進められ、その成果は1955年に発表された「アメリカ規格全国給排水設備」に集約されている¹¹⁾。そこでは、P形で封水深

が2 in. 以上4 in. 以下のトラップと伸頂通気管の他に各個通気管、ループ通気管、通気立て管等の膨大な通気システムを備えた排水システムが規定されている。このシステムは全通気方式 (Fully Vented System) と呼ばれ、その管径決定方法としてハンターカーブによる排水負荷算定法が採用された。全通気方式は単一立て管方式に比べて、安全性は高いが経済性の劣ることから、最近はその体系そのものが見直されつつある。

我国の排水設備は、第2次大戦後アメリカのそれを学ぶことから急速に発展したといえよう。当時アメリカで発表された規格類が紹介され、近代的な排水設備が啓蒙された。従って、排水・通気システムの考え方もアメリカの考え方に準拠しており、その方向で設計方法が体系化されてきた。しかしながら、アメリカが自己サイホン作用に対する保護策として講じた各個通気管を有効な代替方法もなく省略した、ループ通気方式を主体とした通気システムと設計方法が提案され¹²⁾、採用されている事実をみても、アメリカの排水設備に対する厳しい考え方は理解されていなかったように思われる。空気調和・衛生工学会から1967年に「給排水設備規準(HASS206)」¹³⁾が、1977年に技術要項の中に設計方法を取り入れた改訂版¹⁴⁾が発表された。その内容は、規格編はアメリカのNPC とほぼ同様であるが、技術要項編はループ通気管を主体とした通気システムによる独自の設計方法が提案されており、適切でない箇所が多くみられる。

前述のヨーロッパで開発された特殊継手を用いる排水・通気システムが導入されると、それに類似するシステムが新たに2, 3開発され、集合住宅やホテルで広く採用されるようになった。しかし注意しなければならないことは、伸頂通気方式をモデルに確立された技術体系がベースにあるヨーロッパにおいてこそ、その安全性は確保されようが、我国やアメリカのような通気管を多用する通気方式をモデルにして発展してきた土壤に、異種のシステムをそのまま植えることは、十分な配慮がなされていない場合、非衛生的な状況が発生する恐れがある。この混乱は、封水の損失現象が未だ定量的に把握され

ていないこともさることながら、排水設備に対する考え方に定見のないことに起因しているようにも思われる。

1.2 トラップの機能と破封防止

排水用トラップは排水・通気システムと一体のものであり、トラップに対する各国の考え方が即ち各国の排水設備の考え方を代表することをトラップの変遷^{4), 15)}を通して述べている。

次に、トラップの機能と必要条件を明確にした上で¹⁶⁾現在各国で使用されている代表的なトラップの種類と形状を紹介している。

現在各国で使用されているトラップは、サイホン形トラップ (Siphon Trap) と非サイホン形トラップ (Non Siphon Trap) に大別される。サイホン形トラップは、トラップ内を通過する排水がサイホン現象を生じやすい形状をもったトラップで、PトラップやSトラップなどの管トラップで代表される。非サイホン形トラップは、ドラムトラップ、ベルトトラップ、ボルトトラップなどである。これらのトラップは、流入脚と流出脚の断面積が異なり、通水路の拡大・縮小や流水方向の急な変化によってサイホン現象が生じにくいようになっている。サイホン形トラップは自掃力に関しては有利であるが、誘導サイホン作用や自己サイホン作用に関しては不利であることが予測される。非サイホン形トラップはその逆の効果が予測される。また、衛生器具との接続方法によって、大便器やスロップシンクのように器具と一体になった作り付けトラップ、洗面器や流しなどの器具の下に取り付けられる器具トラップ、ベルトトラップやガリートラップのようなトラップが排水装置を兼ねている装置トラップに分けることができる。

各国の給排水・衛生設備に関する規準類には、トラップの最小封水深が規定されている。それらの値を表-1.1に示す。欧州諸国^{5) 6) 7) 8) 9) 11) 13)}の中でよく整備した規準をもつイギリス、ドイツおよびスイスでは、最小封水深は一律になっていない。アメリカの場合は最小値: 50 mm, 最大値: 100 mm と定めているが、最小値は必要な耐破封性能を確保するために、最大値は自掃力に対す

表-1.1 各国の最小封水深 (mm)

国 器具	日 本	アメリカ	イギリス	ド イ ツ	フランス	ス イ ス	スエーデン	デンマーク	チェコスロバキア
水洗式便器	50	50	50	60**	50	50	50	50	80
小 便 器	50	50	76*	60	50	70	50	50	80
敷 地 排 水	50	50	76*	60	50	70	50	50	80
そ の 他	50	50	76*	60**	50	70	50	50	80

*トラップの管径が50 mmを越える場合は、最小封水深を50 mmとしてもよい。

**子供用水洗式便器および囲いシャワー付き浴槽排水の場合は50 mmとしてもよい。

る配慮から規定されたものと考えられる。我国もアメリカと同様の規定を設けているが、それらの値についてはさらに検討の余地があると思われる。

現在各国で使用されている代表的な器具トラップおよび装置トラップの形状に関して、アメリカの NPC と我国の HASS 206では、可動部分や間仕切りによって封水を形成するトラップ、トラップ、ペルトラップおよび頂部通気付トラップを禁止トラップと規定しているのに対し、欧州諸国では、衛生器具の用途にあわせて、また水封式トラップの欠点を補うために、種々のトラップが開発され、現在使用されている^{4) 9) 15) 16) 17) 18) 19) 20)}。アメリカにおいても種々のトラップが出現したが、間仕切りと自掃力の判断から禁止された。しかしながら間仕切りには、規準作成当時トラップの材質が主に铸铁であったことから、巢によって所定の封水深が損われる恐れがあったために禁止されたものと考えられ、その恐れのない材料を使用すれば問題はないと思われる。また、自掃力に関する研究は皆無に等しく、現在のところ適切な評価方法と基準はない。

トラップの必要条件を満足する形状のトラップであれば、さらに誘導サイホン作用や自己サイホン作用に対して抵抗力のある形状に改良してもさしつかえないと考えられる。トラップの性能向上は、排水・通気システムの向上につながり、また通気管の一層の省略を可能にする。

1.3 本研究の目的

種々の排水・通気システムが提案され、混乱を招いている我国の現状は、適切な性能評価方法と基準のないことに起因している。排水・通気システムに要求される主要な性能の1つに破封防止があり、その方法が設計方法の基軸になっている。破封防止に関する主要要素として、トラップの形状、排水管の管径と排水流量および通気管が挙げられる。我国では今まで全く考慮されなかったトラップの形状を改良することによって、耐破封性能が向上すれば、他の要素に対する制限を緩和することができる。その実例がヨーロッパにみられる。それらの要素の各々の効果を総合的に検討した破封防止方法が最も望ましいわけであるが、まず破封を生じるトラップ封水そのものの損失現象を明らかにすることから着手するのが妥当と考えられる。

本研究の目的は、破封の主な原因である誘導サイホン作用、自己サイホン作用および蒸発の諸現象を明らかにし、破封防止に有効なトラップの形状とその基本寸法を提案するものである。

第2章 誘導サイホン作用

2.1 序

誘導サイホン作用 (Induced Siphonage) とは、排水の流下に伴って生じる管内圧力変動に追従してトラップ封水が変動し、損失する現象をいう。

誘導サイホン作用の防止対策としては、トラップの最小封水深、管内の許容圧力値および許容排水流量を定め、適正な通気管を設けることが提案されている。このように、誘導サイホン作用の防止は排水・通気システム全体で行う必要のあることから、その防止方法は排水・通気システムの設計方法の基軸になっている。

最も確実な防止方法は、排水管の圧力を破封が生じないように小さくすることである。その目的で、最小封水深に対する許容圧力値が規定されているわけであるが、その値は管内圧力と封水水位との静的な関係から導かれたものであり、両者の動的な関係は全く考慮されていない。また、トラップに関しては最小封水深の値を規定の対象にしているが、残留封水深に対しては流入脚を流出脚の容種比も封水深と同等の影響を及ぼすと考えられるので、静的な関係についても再検討の余地が残されている。

管内圧力を小さくする方法の他に、トラップの封水強度を強くすれば、許容圧力値を相対的に小さくすることができるとともに排水管管径の縮小と通気管の省略を可能にし、経済的な設計ができるであろう。そのためには、管内圧力に対するトラップ封水の静的・動的特性を踏まえたトラップの性能を明確にする必要がある。

これまでの誘導サイホン作用に関する主な研究としては、J. Christiansen¹⁾ が gully trap について単パルスの繰り返し負荷による封水損失の実験的研究、G. Nelissen²⁾ が正弦波の圧力に対するトラップ形状の検討に関する実験的研究、松平³⁾ がトラップにおける誘導サイホン作用の実験と理論解析、浅野⁴⁾ が P トラップを想定した場合の理論解析を報告している。しかし、まだ多くの不明な部分が残っており、排水・通気システムの設計方法の資料に還元されるにはさらに研究の蓄積が必要である。

本研究は、トラップ封水の変動特性を実験と理論解析によって明らかにし、管内圧力変動の周波数特性を加味して各種トラップの耐圧力性能を調べることを目的としている。

2.2 トラップ封水の破封速度に関する実験

封水深以上の水柱をもつ圧力が封水に作用した場合、一般にディップ以下に封水水面が達すると water plug が破壊されて空気が流出脚を通過し、圧力がおさまると

排水用トラップの破封防止に関する研究

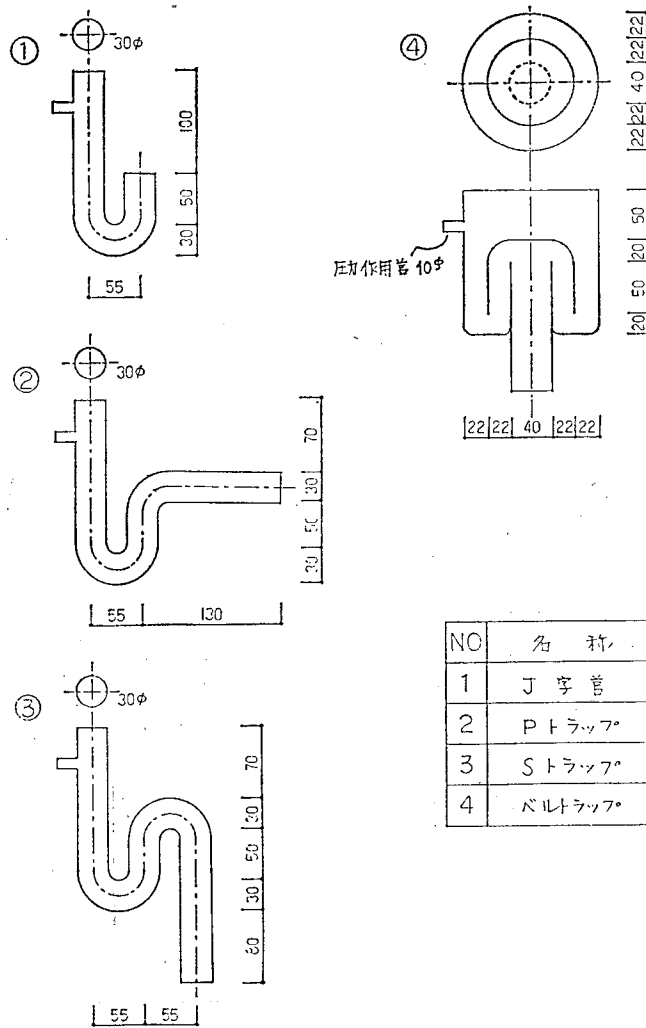


図-2.1 各種トラップの形状

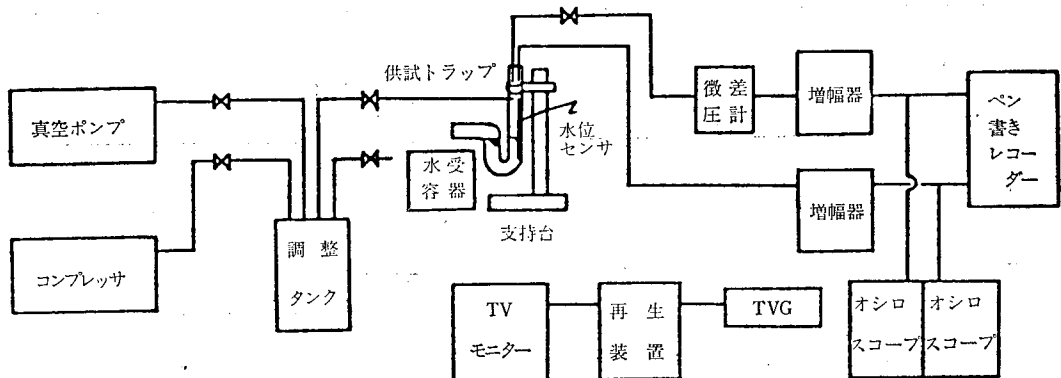


図-2.2 実験装置の全体概略図

流出脚内に残っている水によってトラップは再封されるが、圧力が急激に変化する場合流出脚内の水量が極端に少なくなり破封することがある⁵⁾。その破壊のメカニズムは今後の課題として、ここでは封水の速度に着目して破封状況を調べる。

2.2.1 実験装置り実験方法

供試模型トラップの形状と寸法を図-2.1に示す。材質は透明アクリル樹脂で、封水の挙動が観察できるようにになっている。

実験装置の全体概略図を図-2.2に示す。水位の測定は、水位センサーを封水部にそう入する抵抗式水位計を用いた。負圧は真空ポンプ、正圧はコンプレッサによって生じさせ、調整タンクを経て供試トラップに作用させる。その作用圧力は、微差圧計（定格容量 200 mmAq、

固有振動数850Hz）から増幅器を経てオシロスコープでモニターし、その画像をTVカメラによってビデオテープに収録する。同時に、参考用としてペン書きレコーダ（応答周波数1.5Hz）にも記録した。

以上の実験装置を用いて、J字管、Pトラップ、Sトラップに関しては正圧、ベルトトラップに関しては負圧を作用させ、破封する封水の臨界速度を満水状態と半水状態について調べた。

2.2.2 実験結果と考察

実験結果のうち、満水状態の水位変化を図-2.3～図-2.6に示す。実験結果は、ある速度を越えると破封し、それ以下であれば非破封になることを示している。J字管、PトラップおよびSトラップはほぼ同様の結果を示しているが、ベルトトラップの場合は、本実験装置（負圧

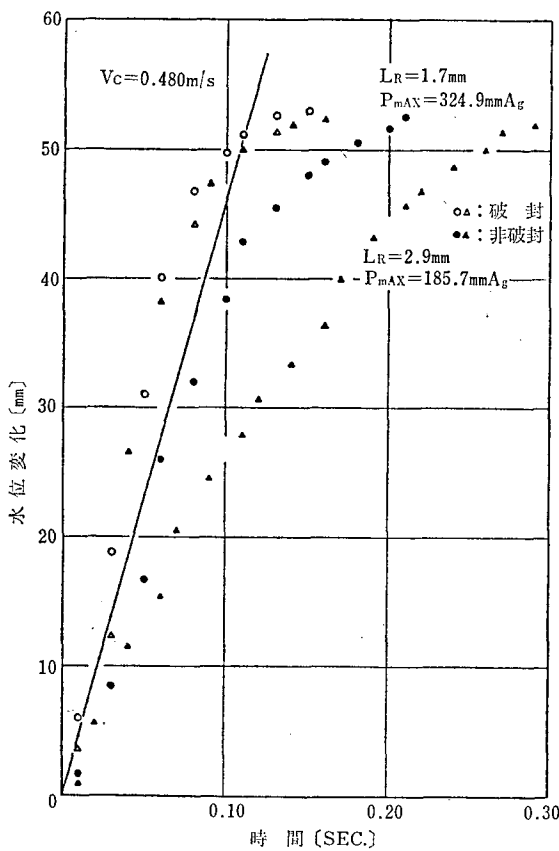


図-2.3 J 字 管

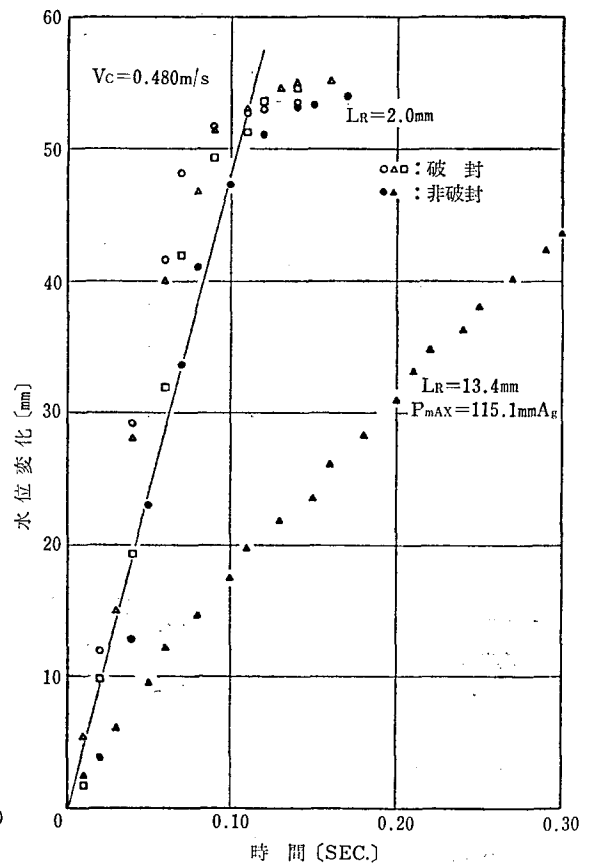


図-2.4 P ト ラ ッ プ

0.7kg/m²)で破封に至らなかった。

以上の結果から、トラップ封水の破封を次のように考える。破封するか否かは、封水深以上の水柱値をもつ圧力が作用したとき、封水の流出脚の水面がディップ以後まで圧力変化に追随するか否か、もしくは流出脚を通過する空気量の多寡によると考えられる。いい変えれば、一方の水面がディップ面を越える際に生じる水プラグの破壊が速ければ非破封、避ければ破封するものと考えられる。その状況は、内径、流入出脚の容積などのトラップ形状が関係すると考えられるが、ここでは実験の結果より明らかになった封水の速度をパラメータとして検討する。

図-2.7のような変位を想定した自由振動の封水速度を考える。その変位は、破封する場合封水面がディップ面

より下方に降下することを考慮して、封水深にトラップ下部の通水断面積の高さの半分を加えたものとする。その変化幅は満水であっても非満水であっても変化しないものとする。この変位が図-2.8に示すように、トラップ封水の固有周期の $\frac{1}{4}$ 時間でなされると仮定すると、その速度は次式で表わされる。

$$V_c = \frac{H+H'}{T/4} = \frac{4}{T}(H+H') \quad (2.1)$$

ここに、 V_c : 破封臨界速度[m/s], H : 封水深[m],
 H' : 通水断面積高さの $\frac{1}{2}$ [m], T : トラップ封水の固有周期

ただし、(2.1)式は本実験に使用したトラップのみに適用できるもので、内径や形状の異なるトラップについて

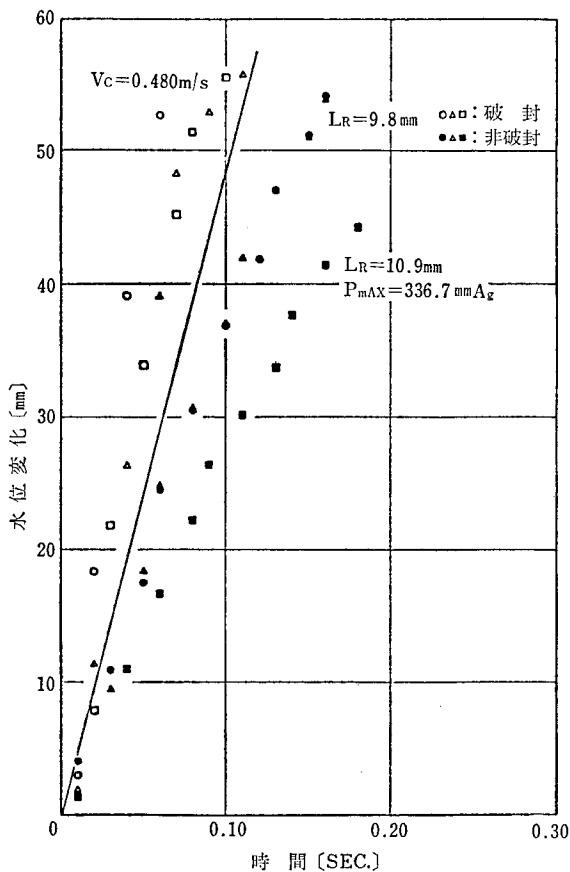


図-2.5 Sトラップ

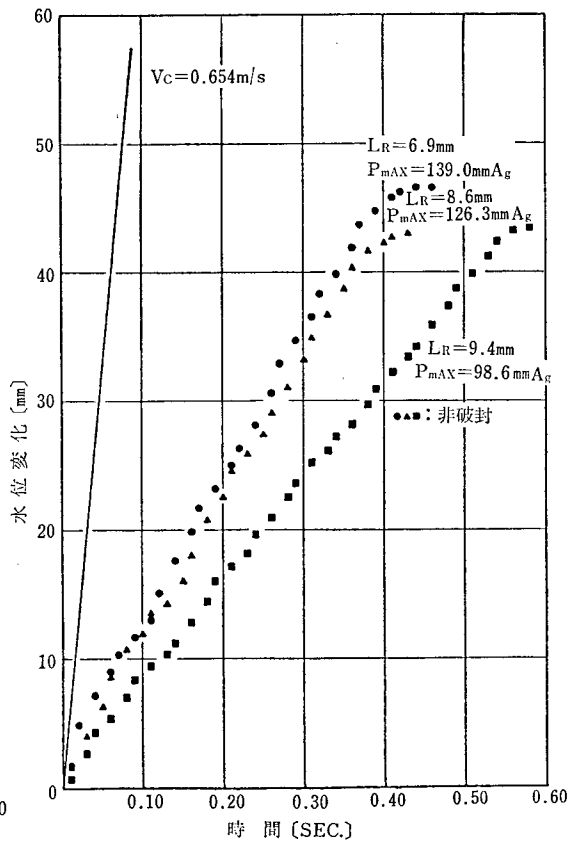


図-2.6 ベルトトラップ

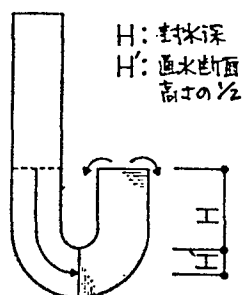
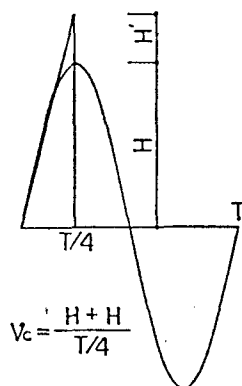


図-2.7 水面の変位


 図-2.8 V_c の定義

は、別途に検討する必要がある。

固有周期に関しては、満水状態の場合満水状態の固有周期と半水状態の固有周期の平均、半水状態の場合はその固有周期を用いた。

供試トラップについて、図-2.2の実験装置を用いて固有周期を求めたのが表-2.1である。表-2.1の固有周期を用いて(2.1)式により計算した破封臨界速度 V_c が図-2.3～図-2.6にそれぞれ実線で示してある。 V_c は、実験結果の破封の臨界をよく表している。

2.3 封水の数学モデル

2.3.1 同径トラップ

等断面積をもつU字管およびJ字管において、封水を非圧縮性一次元の流れで、摩擦による抵抗が速度の一乗に比例するものと仮定すれば、この封水の数学モデルは次のように考えられる。

$$A\rho l \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + A\rho g(y + y_h) = A_p \quad (2.2)$$

ここに、 A : 管の断面積[cm^2], ρ : 水の密度[$\text{g}\cdot\text{s}^2/\text{cm}^4$]

l : 封水の長さ[cm], y : 静止平衡位置からの水面変化[cm], c : 減衰係数[$\text{g}\cdot\text{s}/\text{cm}$], t : 時間[s]

3.3.2 異径トラップ

異径トラップにおいて、封水の運動を非圧縮性一次元の流れと仮定すると、

$$A_1 \frac{dy_1}{dt} = -A_2 \frac{dy_2}{dt} = Au \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial s} = -\frac{g}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial s} - g \frac{\partial z}{\partial s} \quad (2.4)$$

ここに、 y_1 : 静止平衡位置からの流入脚の水面の変位[cm], y_2 : 静止平衡位置からの流出脚の水面の変位[cm], A_1 : 流入脚の断面積[cm^2], A_2 : 流出脚の断面積[cm^2], A : 速度 u を与える場所の断面積[cm^2], u : 流路内の封水の軸方向平均速度[m/s], γ : 水の比重量[g/cm^3], g : 重力の加速度[cm/s^2], p : 平均圧力[g/cm^2], z : ある基準面からの高さ[cm], t : 時間[s], s : 流線に沿う座標[cm]

(2.3) 式を s について流入脚の水面から流出脚の水面まで積分し、整理すれば、

$$\left[\left(1 + \frac{A_1}{A_2} \right) L_1 + \frac{A_1}{A_2} L_0 \right] \frac{d^2 y_1}{dt^2} + \left(1 + \frac{A_1}{A_2} \right) g y_1 = \frac{g}{\gamma} p \quad (2.5)$$

ここに、 L_1 : 基準面からの高さ[cm], L_0 : 隔壁の厚さ[cm], p : 両封水面の圧力差[g/cm^2]

封水の運動にともなう摩擦や流路の拡大・縮小に関する抵抗が一律に速度の一乗に比例するものと仮定すれば、

$$\left[\left(1 + \frac{A_1}{A_2} \right) L_1 + \frac{A_1}{A_0} L_0 \right] \frac{d^2 y_1}{dt^2} + c_1 \frac{dy_1}{dt} + \left(1 + \frac{A_1}{A_2} \right) g y_1 = \frac{p}{\rho} \quad (2.6)$$

上式の減衰係数 c_1 については、自由振動の測定結果より求める。

2.4 数学モデルの検討

2.4.1 周有周期と減衰係数の計算方法

固有周期に関して、同径トラップの場合は(2.2)式より、

$$T = \frac{2A\rho l}{\sqrt{8A^2\rho^2 l g - c^2}} \quad (2.7)$$

異径トラップの場合は

$$T = \frac{4\pi \left[\left(1 + \frac{A_1}{A_2} \right) L_1 + \frac{A_1}{A_0} L_0 \right]}{\sqrt{4 \left[\left(1 + \frac{A_1}{A_2} \right) L_1 + \frac{A_1}{A_0} L_0 \right] \left(1 + \frac{A_1}{A_2} \right) g - c_1^2}} \quad (2.8)$$

減衰係数 ζ は、同径トラップの場合(2.9)式で、異径トラップの場合(2.10)式で表わせる。

$$\zeta = \frac{c}{2A\rho\sqrt{2lg}} \quad (2.9)$$

表-2.1 実験 No. と実験条件

実験 No.	条 件	単位 [cm]						
1	初期水位差 Z_0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	$l : 21.9$
2	封 水 長 l	11.3	14.2	17.0	19.8	22.6	25.5	$Z_0 : 4.0$
3	断 面 長 さ D	4.0	3.8	3.3	2.8	2.3	2.0	$Z_0 : 4.0$
	隔 壁 厚 さ L_0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	4.5	
	封 水 長 l	19.5	20.0	20.7	21.5	22.3	22.5	
4	通水断面高さ D_0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	$L_0 : 0.5$
	封 水 高 さ L_1	8.3	8.8	9.3	9.8	10.3	10.8	$Z_0 : 4.0$
	通水断面高さ D_0	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2		$L_0 : 2.0$
	封 水 高 さ L_1	8.4	8.9	9.4	9.9	10.4		$Z_0 : 4.0$
	通水断面高さ D_0	1.8	2.7	3.7	4.7	5.7		$L_0 : 3.0$
	封 水 高 さ L_1	8.7	9.1	9.6	10.1	10.6		$Z_0 : 4.0$
5	封 水 高 さ L_1	11.3	10.6	10.1	9.4	8.9	8.4	$L_0 : 1.0$
	通水断面高さ D_0	0.8	1.8	2.8	3.7	4.8	5.7	$Z_0 : 6.0$
6	封 水 高 さ L_1	3.5						$Z_0 : 1.2$

$$\zeta = \frac{c_1}{\sqrt{\left[\left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right)L_1 + \frac{A_1}{A_0}L_0\right]\left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right)g}} \quad (2.10)$$

2.4.2 実験装置と実験方法

図-2.2の実験装置を用いて、封水両水面に水位差をつくり、自由振動を生じさせ、その水面の変位をベンがきレコーダによって記録した。同径および異径トラップについて表-2.1に示す実験を行った。

2.4.3 実験結果と計算結果の比較

(1) 同径トラップ

図-2.9にNo.1の実験結果とその条件から計算した固有周期 T を示す。初期水位差 z_0 は計算には含まれないから、 T は z_0 に関係なく一定になる。しかし、実験結果は z_0 が8 cm以上では一定値に、6 cm以下では z_0 が小さくなるにつれて T も小さくなる傾向を示している。

図-2.10にNo.2の実験結果と計算結果を示す。 T の計算値の方が実験値よりわずかに大きく、封水長 l が大きくなるにつれてその差が大きくなる傾向を示している。トラップ封水の封水長は5~40 cm程度が対象となるが、約10 cmを越えると計算値はわずかに大きくなることが予想される。

図-2.11にNo.3の実験結果と計算結果を示す。隔壁厚さ L が封水断面の辺長 D に比して約1.5より大きい場合は計算値 T の方が実験値より大きく、同比が約0.5より小さい場合は逆に計算値の方が小さくなる傾向を示している。

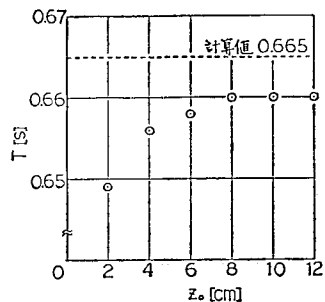


図-2.9 No.1の実験結果と計算結果の比較

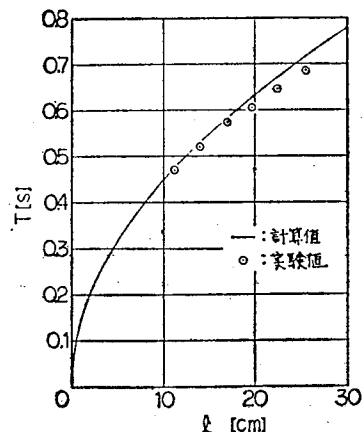


図-2.10 No.2の実験結果と計算結果の比較

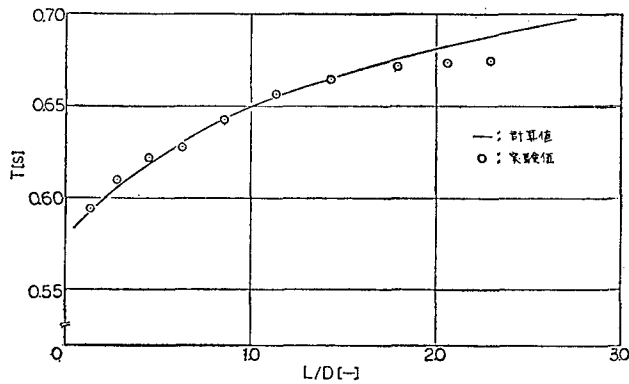


図-2.11 No.3の実験結果と計算結果の比較

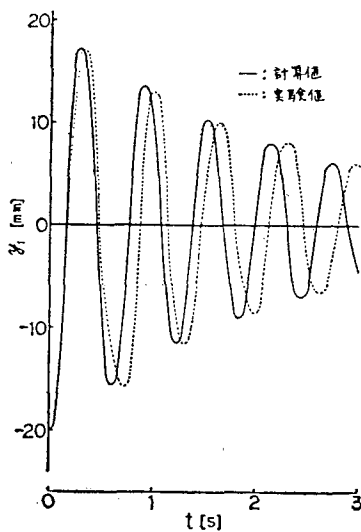


図-2.12 自由振動の実験結果と計算結果の比較

図-2.12は、初期水位差2.0cmの場合のU字管における自由振動の波形について、実験結果と計算結果を比較したものである。ルゲン・クッタ法により数値的に求め

た計算波形はよく一致している。

以上の検討により、(2.2)式はトラップの運動を必要な精度で記述しているとみなす。

(2) 異径トラップ

図-2.13にNo.4の実験結果と計算結果を示す。通水断面積高さ D_0 が4 cmより大きくなるに従って計算値の T は実験値のそれより大きくなること、逆に D_0 が3 cmより小さくなると計算値の方が実験値より小さくなるという、同径トラップでみたNo.3の結果と同様の傾向を示している。計算値と実験値との差異は、隔壁厚さ L_0 が小さいほど大きくなっている。

図-2.14にNo.5の実験結果と計算結果の比較、表-2.2に減衰比 ζ を示す。これらの結果は、実験No.3, No.4と同様の前向を示している。

図-2.15は、No.6の自由振動の波形を示したものである。対象とした異径トラップがベルトトラップであるため、 L_0 に関して厳しい条件になっている。減衰状態に関してはよく一致している。

以上の検討結果より、(2.5)式が異径トラップの封水の運動を表わせることが明らかである。

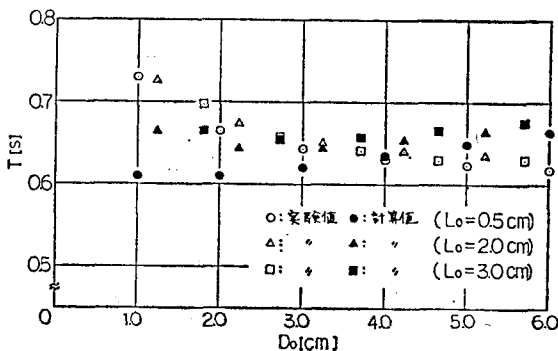


図-2.13 No.4の実験結果と計算結果との比較

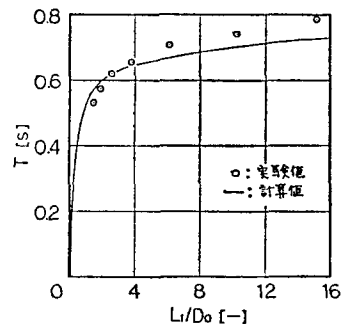


図-2.14 No.5の実験結果と計算結果との比較

排水用トラップの破封防止に関する研究

表-2.2 No.5の減衰比

L_1/D_0 [—]	1.465	1.848	2.549	3.655	6.080	15.107
ζ [—]	0.0472	0.0499	0.0526	0.0499	0.0499	0.0640

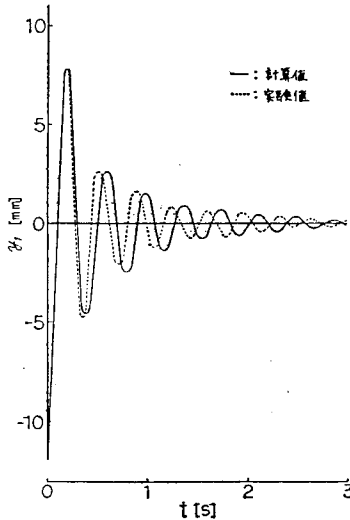


図-2.15 自由振動の実験結果と計算結果の比較

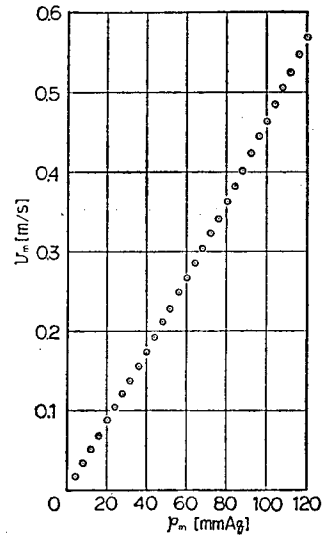


図-2.16 p_m と v_m の関係

2.5 封水の変動特性

2.5.1 計算方法

同径トラップとしてPトラップを想定し、(2.2), (2.9), 式を適用する。異径トラップとしてはベルトトラップを想定し、(2.6), (2.10) 式を適用する。

作用させる圧力変動は、(2.11) 式で表わされる三角パルスと (2.12) 式で表される正弦波を与える。

$$\left. \begin{aligned} p(t) &= \frac{4F}{T'} t \quad 0 \leq t \leq \frac{T'}{4} \\ p(t) &= F - \frac{4F}{T'} t \quad \frac{T'}{4} \leq t \leq \frac{T'}{2} \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

$$p(t) = F \sin \frac{2F}{T} t \quad (2.12)$$

計算は、封水損失を生じるので、ルンゲ・クツタ法により数値的に解析する。

2.5.2 計算結果と考察

(1) Pトラップ

図-2.16は、圧力の最大値と封水水位が破封水位に達するまでの速度の最大値との関係を示したものである。両者はほぼリニアな関係になっている。(2.1) 式から求めた、この場合の破封臨界速度 $v_c = 0.48 \text{ m/s}$ に対して、その値に達するような速度を生じさせる圧力は約 100 mmAqであることがわかる。

図-2.17は、作用圧力である正弦波の周期と損失封水位を示したものである。これより、共振現象によって容易に破封に達することがわかる。図-2.18に、 $F=25 \text{ mmAq}$, $T=0.3 \text{ sec}$ を与えた計算結果の1例を示す。

(2) ベルトトラップ

図-2.19は、図-2.16と同様に、圧力の最大値 p_m と速度の最大値 v_m との関係をみたものである。 p_m と v_m はほぼリニアな関係にある。三角パルスの圧力について、このベルトトラップはPトラップの約2倍の封水強度をもつといえる。

図-2.20は、 $F=25 \text{ mmAq}$ の正弦波の周期と損失水位との関係を調べたものである。このように、ベルトトラップは25mmAqの振幅をもつ正弦波が作用しても破封しにくいことが予想され、Pトラップより管内圧力変動に対する封水強度が著しく大きいことがわかる。図-2.21に $F=25 \text{ mmAq}$, $T=0.3 \text{ sec}$ を与えたときの計算結果の1例を示す。

2.6 排水管内圧力変動のスペクトル解析

不規則な振動波とみなされる管内圧力変動のもつ特性の中で封水損失に対する主要な要素としては、最大振幅、平均振幅、継続時間、振動数が挙げられる。これらのうち振動数の評価は、圧力振動波に含まれる振動成分の構成とあわせて振幅も含めたパワースペクトルを解析

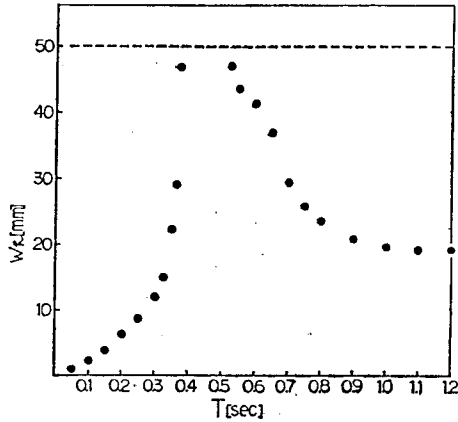


図-2.17 T と w_h の関係

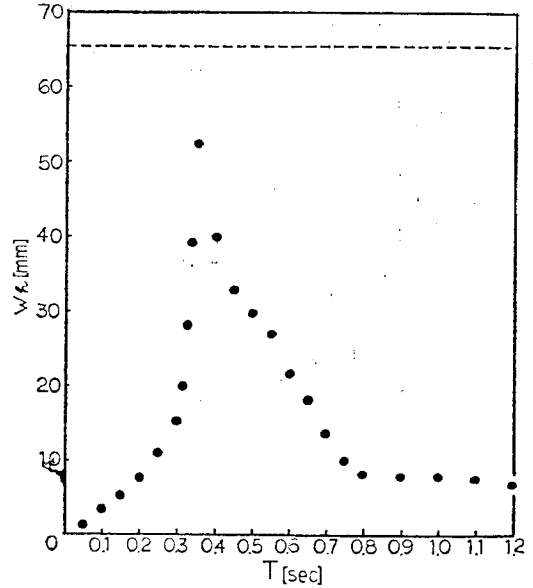


図-2.20 T と w_h の関係

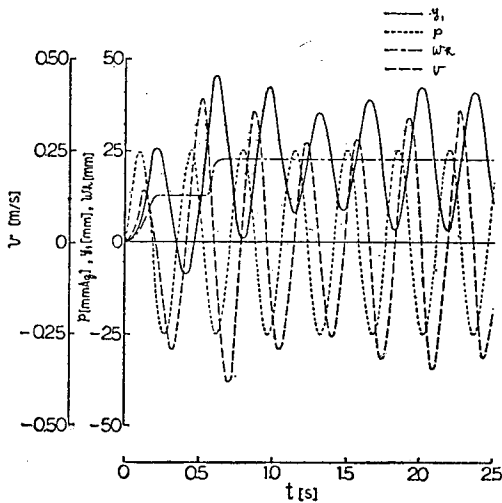


図-2.18 計算結果の例 ($F=25\text{mmAq}$, $T=0.3\text{sec}$)

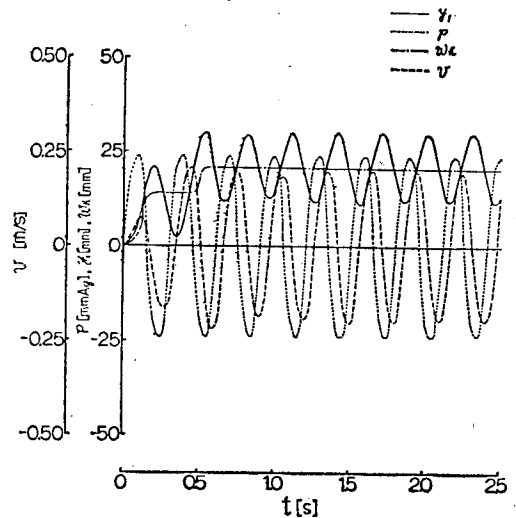


図-2.21 計算結果の例 ($F=25\text{mmAq}$, $T=0.3\text{sec}$)

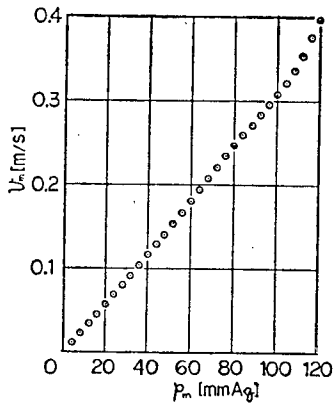


図-2.19 p_m と v_m の関係

することにより、どのような振動成分が卓越しているかを知ることができる。

2.6.1 解析方法

スペクトル解析の手法としては、Blackman-Tukey 法、fast Fourier transform (FFT 法)、maximum entropy method が提案されているが、本実験が定常排水であることと計算機の演算速度が有利なことを考慮して、ここでは FFT 法を用いた。

FFT 法では、生データから複素クーリエ成分を求め、そのクーリエ逆変換により自己相関関係が、また直接にパワースペクトルが計算される。生スペクトルの平滑化

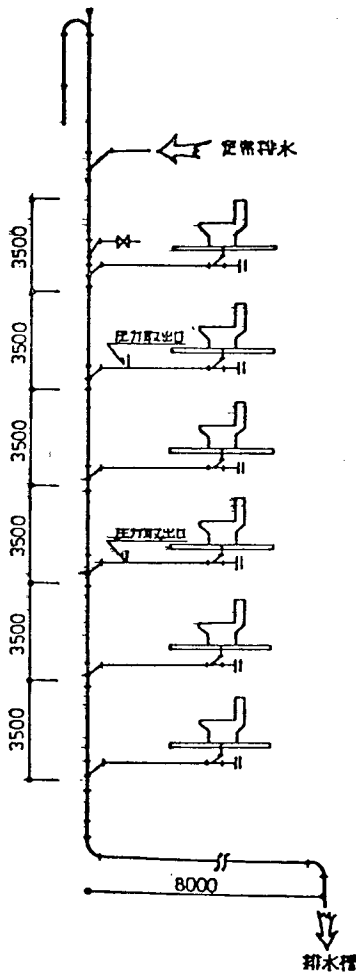


図-2.22 排水実験装置

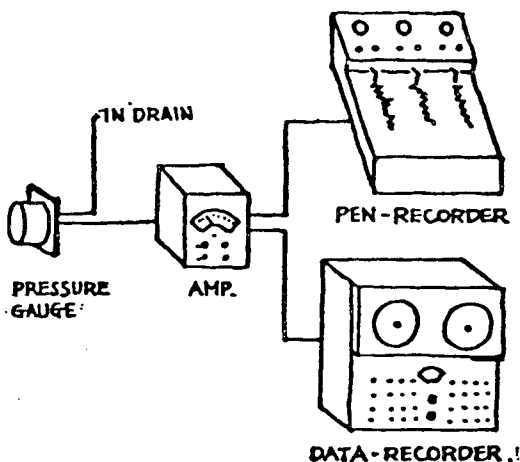


図-2.23 測定装置

のためのスペクトルウィンドウは、サイドローブの小さい Parzew window を用いた。読みとり間隔は、0.01sec とした。

2.6.2 実験装置と実験方法

排水実験に使用した排水・通気システムは図-2.22に示すような Single Stack System で、東京大学工学部総合試験所に既設のものである。定常排水のできる装置を最上階に備えている。管内圧力変動の測定装置を図-2.23に示す。圧力計は拡散型半導体圧力変換器（応答周波数100Hz）を使用し、データレコーダに記録した。

排水流量に関しては、Single Stack Systemにおける排水立て管内径100φに対する許容値4.6l/sを基準にして、2.0～6.0l/sまで1.0l/sきざみで実験を行った。

2.6.3 解析結果と考察

解析結果より得られた管内圧力変動の自己相関関数とパワースペクトルおよび生データの例を図-2.24と図-2.25に示す。

生データから一見して、管内圧力変動が不規則振動波であるようにみられる。

トラップ封水の固有振動数範囲（1Hz～3Hz）に対して、2lの3F、5lの5F、6lの5Fの場合に卓越したパワースペクトルが存在している。従って、トラップ封水が共振現象を生じる可能性がある。

2.7 結 論

以上、誘導サイホン用について明らかとなったこととその防止をトラップ形状に着目して考察した結果を述べる。

(1) 破封条件

破封状況を実験により調べた結果、その破封の臨界は本章で使用したトラップについては(2.1)式で定義される破封臨界速度 v_c によって示される。

(2) 封水の数学モデル

一次元流れで、流水抵抗が速度の一乗に比例するものと仮定して導いた数学モデル（同径トラップ：(2.2)式、異径トラップ：(2.6)式）をトラップ封水の固有周期について実験値と比較した結果、ほぼ一致していたことから、本モデルの妥当性が確認された。

(3) 封水の変動特性

破封条件を加えた数学モデルを用いて、三角パルスと正弦波の圧力変動を与えたシミュレーション結果より、三角パルスの場合、ベルトラップはPトラップに対して約2倍の封水強度をもつこと、許容管内圧力値とされている25mmAqの振幅を与えた正弦波の場合Pトラップは容易に破封するがベルトラップは破封しないことが明らかになった。

(4) 排水管内圧力変動の周波数特性

ORIGINAL DATA 3F 3.0 [%]

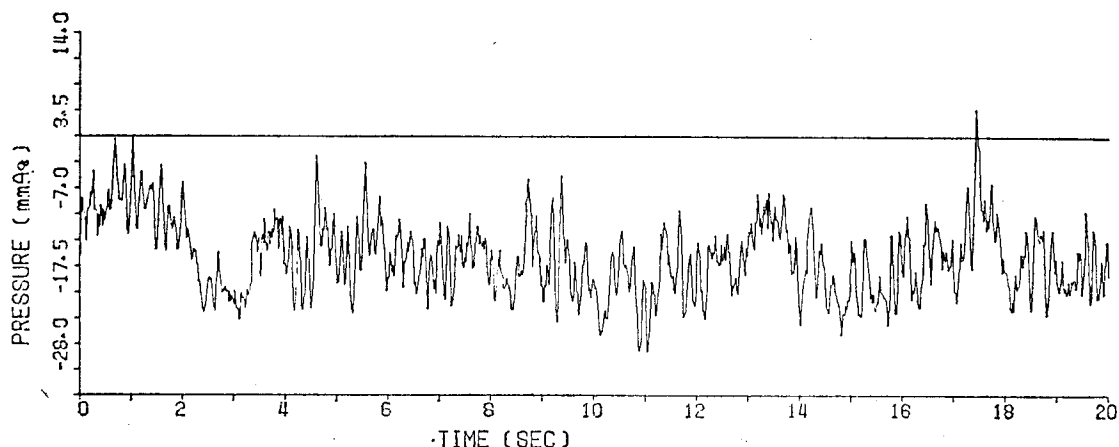


図-2.24(1) 生 デ ー タ

AUTOCORRELATION 3F 3.0 [%]

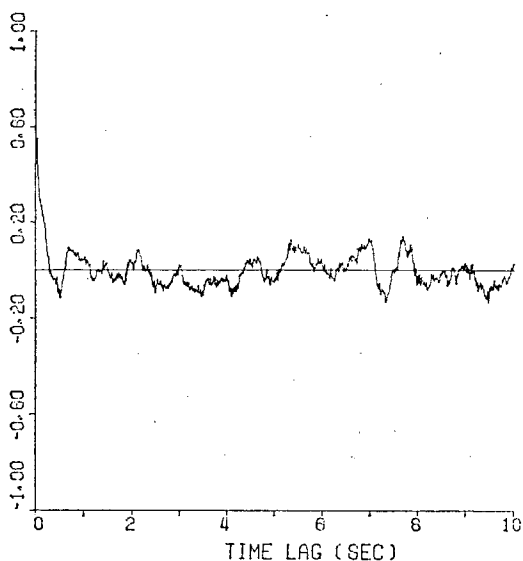


図-2.24(2) 自己相関関数

POWER SPECTRUM 3F 3.0 [%]

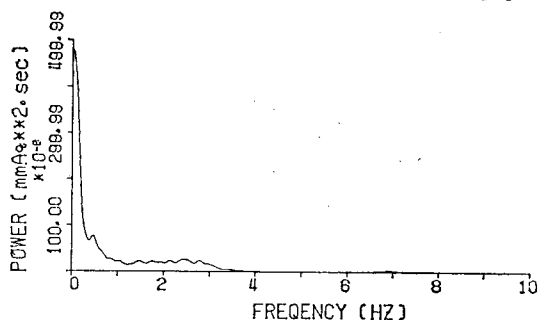


図-2.24(3) ハーワースペクトル

7階規模の Single Stack System を用いて定常排水を行って採集した管内圧力変動のスペクトル解析を行った結果、それが不規則振動とみなせること、排水流量または測定部位によってトラップ封水の固有振動数範囲内に卓越したパワースペクトルが存在し、共振現象を生ずる可能性のあることがわかった。

(5) 誘導サイホン作用に対する封水強度の増加方法
基本的には、異径トラップにすることが有利である。管内圧力と封水変位を静的に考えれば、封水深を大きくすることとトラップ流出脚の容積を流入脚のそれより大きくすることが有効である。動的に考えれば、トラップ封水の固有周期を小さくするかまたは封水深や通水断面高さを大きくすることによって破封臨界速度を速くすること、ベルトトラップやボトルトラップのように封水部を隔壁で構成して減衰比を大きくすることが有効である。

以上の考察から、Pトラップで代表される管トラップはベルトトラップで代表される隔壁トラップに比べてその封水強度は劣ることが明らかである。トラップの自掃力を加味することが条件ではあるが、Pトラップを最良のものとして推奨している我国の規準類は、再検討されるべきと思われる。

第3章 自己サイホン作用

3.1 序

自己サイホン用 (Self-Siphonage) とは、器具排水において排水終了時にトラップ含む器具排水管内が一部満流状態になる場合、その流水の引張力によって流水の最後部がディップ部まで下降しトラップ内に残留する封水が少なくなる現象をいう。その残留封水量にはしぼれ水の

ORIGINAL DATA 5F 60 [1/s]

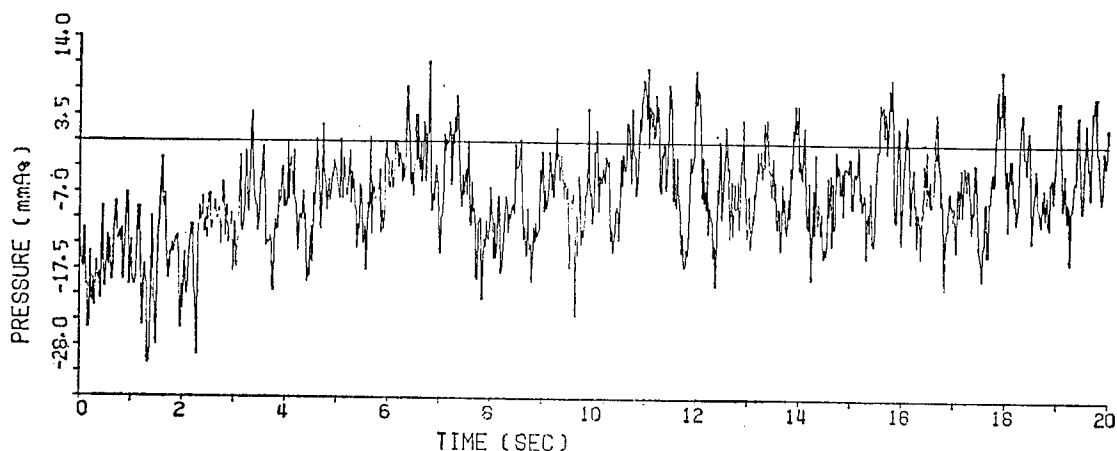


図-2.25(1) 生 デ ー タ

AUTOCORRELATION 5F 60 [1/s]

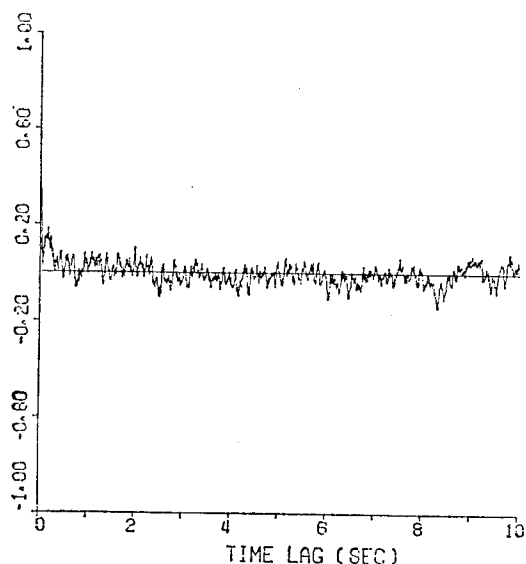


図-2.25(2) 自己相関関数

POWER SPECTRUM 5F 60 [1/s]

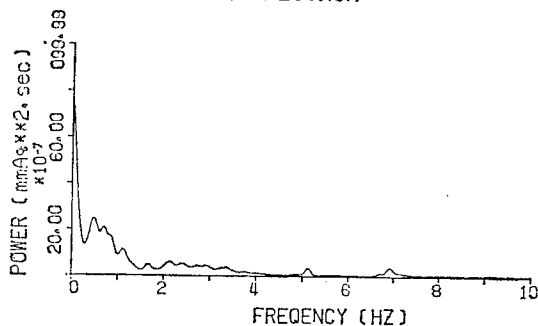


図-2.25 (3) パワースペクトル

量に関係し、しばれ水の少ない丸底形の器具で、ため洗いの使用形態をもつ洗面器が最も危険になることが定説になっている。

洗面器に設けられたトラップの封水を自己サイホン作用から保護するための方法が各国の関連規準に盛りされている。その考え方は、アメリカ式とヨーロッパ式に大別される。アメリカ式は、主に各個通気管を器具排水管に設けることにより水プラグを破壊しようとするもので、現在のところ最も確実な方法とされている。ヨーロッパ式は、器具排水管の管径をトラップのそれより1サイズ大きくすることによって、管内の流れを非満流にしようとするものである。このほかに、P、Sトラップ以外のトラップ、例えばボトルトラップ (bottle trap) が洗面器によく使用されている。

わが国の排水・通気システムは、全通気方式と称されるアメリカ方式をベースに、各個通気管を省略したループ通気方式へ、さらにループ通気管と通気立て管を省略したヨーロッパ方式の単一立て管方式へと通気システムが単純化されてきている。すなわち、自己サイホン作用に対して、アメリカ式とヨーロッパ式のいずれの防止方法も採られておらず、無防備であるのが現状である。

器具の排水から自己サイホン現象を経て、水がトラップ内に残留・静止するまでの過程に影響を及ぼす要因として、器具の形状、排水状態、配管形態、同時排水などが挙げられ、さらに各々が多くの要素を含んでいる。これらのうちの幾つかは、その定性的な影響がアメリカの R.B. Hunter^{1),2)}, J.L. French^{1),2)}, イギリスの A. F.E. Wise^{2),3)} によって実験的に明らかにされている。わが国では、塚越⁴⁾ らがPトラップとSトラップの比較を

行い、金杉²⁾、³⁾らが器具の底面形状、配管の構成、同時排水についてプラグフローの発生回数をパラメータに検討した一連の研究を報告している。また、浅野らが、完全な満流を想定した流水モデルを用いてシミュレーションを行っている。以上、多くの研究蓄積はあるが、わが国の配管形態に相応した有用な防止方法を検討するには、まだ資料が不足しているように思われる。また、時間的・場所的に複雑に変化する排水管内の流動状態については、A.F.E. Wise³⁾の報告に一例が紹介されているのみで、その特徴に不明なところが多い。

そこで無通気方式の丸底形の洗面器を対象に、まず配管の構成による防止方法を検討するために、基本的な要因について排水管内の流動状態の様相の変化と残留封水率（封水深に対する残留封水深の比）からその影響を調べた。次のトラップ自身による解析方法に着目して各種形状のトラップを比較し、その結果、最も優れていたボルトトラップの有効性を各種配管形態について検討し、併せて流動状態の特徴を調べた。

3.2 基本的性状と配管構成に関する実験

3.2.1 実験装置と実験方法

実験装置と配管部位の名称を図-3.1に示す。洗面器は丸底形（T社製、実容量6 l）Pトラップはガラス製（内径30.4 mm、封水深50.2 mm）、器具排水横管と器具排水立て管との接続継手はPVC製の90°エルボ、排水管はアクリル製透明管（内径29.5 mm）を用いた。トラップと排水管との内径が若干異なっているので、それぞれの管内面の最底部を合わせ、ビニールテープを管表面に巻いて接合した。給水方法は、既設給水管から分岐した給水管と水栓により洗面器に給水した。排水量は器内満水の一定とし、排水孔プラグを素早く抜いて排出した。残留封水深はディップの水平レベルを原点とし、トラップ流入脚の側壁に取り付けた垂直スケールにより目測した。排水管内の流動状態は、主にVTRによって記録、観察した。表-3.1に示す実験要素の各組合せにつき、5

表-3.1 実験条件

洗面器	オーバーフロー管	開放	両開口部をテープで閉鎖
		閉鎖	
器	器内の水の状態	静止	給水終了直後に排水
		流動	
配管形態	器具排出管の長さ	160 mm	一般的な配管例 (内径: 30 mm)
		220 mm	
	封水深	50 mm	(内径: 30 mm)
		75 mm	
	器具排水横管のこう配	1/100	(管長: 1000 mm)
		1/50	
		1/25	
態	器具排水横管の長さ	30 mm	ヨーロッパの配管例
		35 mm	
	器具排水立て管	接続 —	(接続継手: 90° エルボ) (管長: 1000 mm)

回の排水実験を行った。ただし、器内の水の状態については、残留封水深の小さいことが予想される器具水平管のこう配1/25についてのみ検討した。

3.2.2 実験結果と考察

器具の排水開始から、自己サイホン現象を経て封水が静止するまでの流動状態の変化パターンとして、まず代表的に実験条件（オーバーフロー管：閉鎖、器内の水の状態：静止、器具排出管の長さ：160 mm、封水深：50 mm、器具排水横管の管長：1000 mm、同内径：30 mm 同こう配：1/50、器具排水立て管：非接続）の場合について概説し、次に各要素の変化によって、その流動状態がどのように変化したかを示し、併せて残留封水率を比

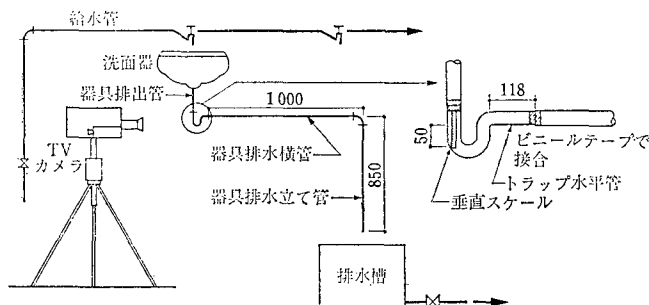


図-3.1 実験装置

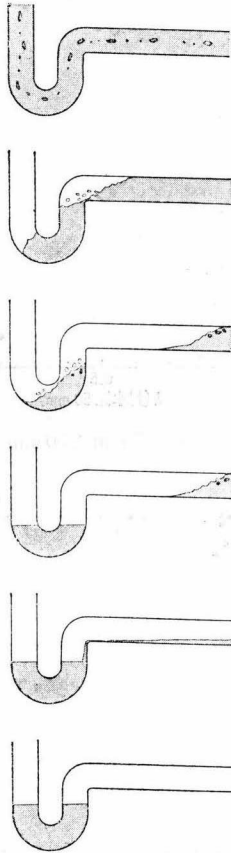


図-3.2 代表的な流動状態の変化

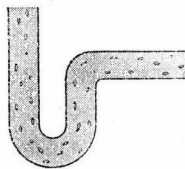


図-3.3 オーバフロー管がある場合の管内の流動状態

較する。本実験では、封水深が50 mmと75 mmの2種類のPトラップを用いてあるので、残留封水率 h を指標とした。図-3.4、図-3.6～図-3.10、図-3.12および図-3.13は、実験条件の中で対象とする要素の変化（2種類）の3残留封水率に及ぼす影響をみるために、全実験結果をその要素についてプロットしたものである。

(1) 管内の流動状態と残留封水率 h

1) 代表的な流動状態の変化

流動状態の変化過程は、次のi～vi)によって特徴づけられる。図-3.2は、それを順に図示したものである。

i) 排水の初期はほぼ満流状態であるが、途中から少

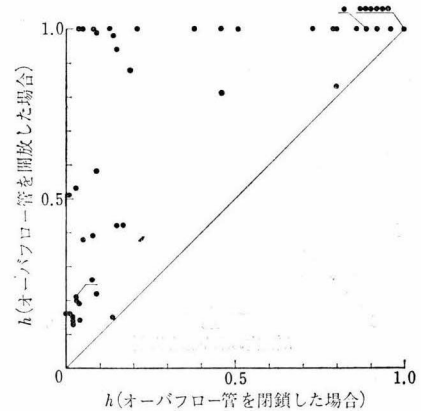


図-3.4 オーバフロー管（開放と閉鎖）の影響

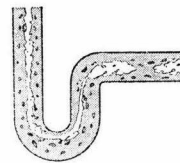


図-3.5 器内の水が流動していた場合の管内の流動状態

量の気泡が混入する。

- ii) 流れ末端がディップ付近まで降下すると、ウエア部分にエアプラグ（流水の途中で空気がほぼ管断面を満たすような空気部分をいう）が発生し、流水はウエア部分で切れる。
- iii) エアプラグが発達するに従ってトラップ内の水は吸引され、流入脚側の水面はさらに降下する。
- iv) 流入脚側の空気が通過してエアプラグ内に流入し、流出脚内の水は徐々に逆流する。
- v) 器具排水横管内に形成されていたウォータープラグがくずれ、その一部がトラップ内に再流入する。
- vi) トラップ内に水が残留・静止する。

2) オーバフロー管

排水の初期において、図-3.2の場合、途中から若干の気泡が混入し、器具排水横管の中心部を流れるが、オーバフロー管を開放した場合、図-3.3のように管断面に一樣に分布する気泡流となる。エアプラグを形成する時間は短く、戻り水の量が多くなる。図-3.4に示す残留封水率で比較すると、すべてオーバフロー管を開放した場合のほうが大きくなっている。

3) 器内の水の状態

洗面器内において、渦巻きの発生時期が器内の水が静止状態の場合に比べて早く、大きな渦を形成する。排水終了直前の流れは、図-3.5のように器具排出管内はバブ

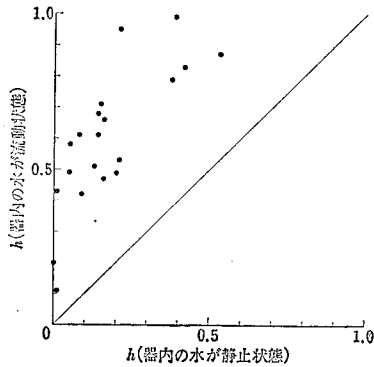


図-3.6 器内の水の状態（流動と静止）の影響

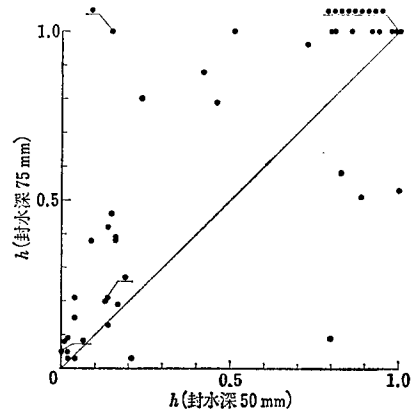


図-3.8 封水深（75 mm と 50 mm）の影響

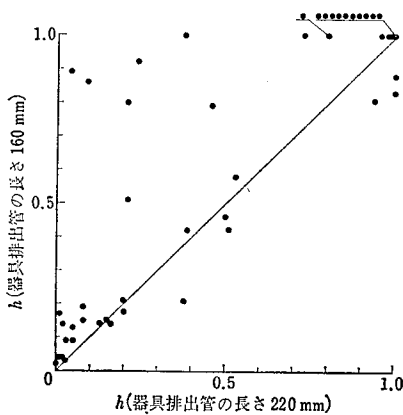


図-3.7 器具排水管の長さ（160 mm と 220 mm）の影響

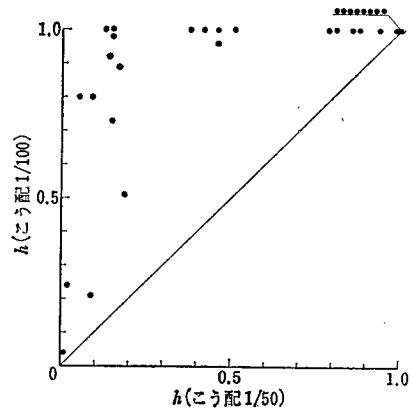


図-3.9 器具排水横管のこう配（1/100と1/50）の影響

リーアニュラ流，器具排水横管内はスラグ流に近い様相を示す。戻り水の量は多くなり，残留封水量は増加する（図-3.6参照）

4) 器具排水管の長さ

流動状態は図-3.2の場合と同様で，特徴的な変化はみられなかったが，残留封水率を比較すると図-3.7のように大部分は小さくなっている。排水管内が完全に満流であれば，器具排水管の長さに比例してサイホン作用の吸引力が増加し，残留封水深は小さくなることが予想される。図-3.7の結果はその傾向を表わしているが，逆に管長が短かいほうが， h が小さくなっている場合が幾つかみられる。これは，排水管内の流れが空気を含む二相流で，複雑に変化することに起因し，エアプラグの大きさと圧力および戻り水の量がより大きな影響を及ぼすことが推測される。

5) 封水深の大きさ

流動状態は図-3.2とほぼ同様であったが，エアプラグが発生した後の流出脚内の水量が多いために，残留封水量は多くなる傾向にある。図-3.8の h をみると，封水深

75 mmの場合，封水深50 mmに比べて，封水深の比以上に相対的な残留封水深は大きくなっている。しかし，エアプラグを形成するタイミングは発達し，戻り水の量が少なくなり，逆の結果が幾つか表れている。

6) 器具排水横管のこう配

流動状態は図-3.2とほぼ同様であったが，こう配が急なほど戻り水の量は少なくなり，図-3.9，図-3.10のように残留封水率は小さくなる。

7) 器具排水横管の内径

配管の構成によって図-3.11に示す2種類の特徴的な流動状態がみられた。図の(b)の状態は，器内の水の状態：静止，封水深：50 mm，器具排水横管のこう配：1/25の場合にのみみられ，器具排水横管内にウォータープラグは形成されず，流入脚内の流水末端はウエアのレベル以下には降下しない。したがって，この場合，残留封水率は常に1.0になる。その他の配管では図の(a)の状態が異なる以外は図-3.2と同様の変化を示し，図-3.12のよ

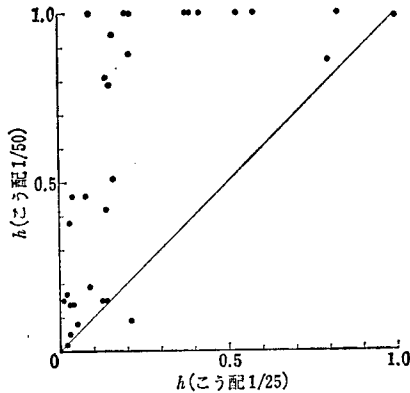


図-3.10 器具排水横管のこう配 (1/50と1/25) の影響

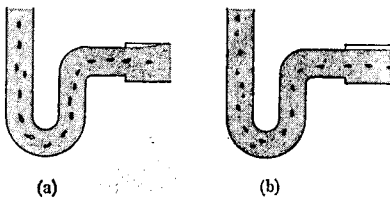


図-3.11 器具水平管の内径が35 mm の場合の管内の流動状態

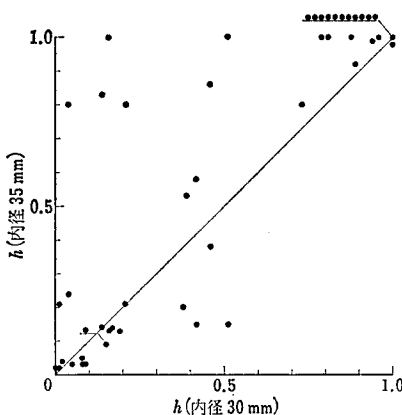


図-3.12 器具排水横管の管径 (35 mm と 30 mm) の影響

うに残留封水率に大きな差はみられなかった。

8) 器具排水立て管の接続

流動状態は図-3.2と同様の变化を示すが、器具排水立て管が接続されていない場合に比べてエアプラグが大きく発達するため、戻り水の量が少なくなる。その結果、図-3.13のように残留封水率は小さくなる。

(2) 自己サイホン作用の防止方法

実際のトラップ回りの配管形態としては多くのバリエーションが考えられ、自己サイホン作用の防止に有効な

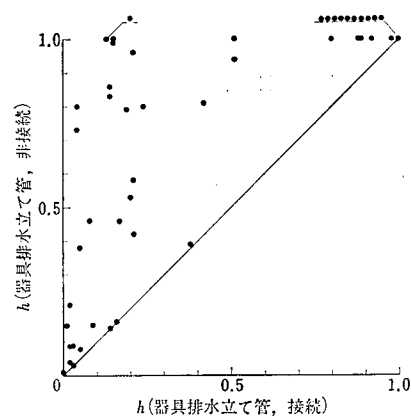


図-3.13 器具排水立て管の影響

配管方法を検討するためには、さらに多くの資料が必要と思われるが、本実験で定性的に明らかになったことから考察すると、次になる。

1) 洗面器オーバーフロー管を設けることまた洗面器の底面形状と排水孔の形状の改良により大きな渦巻きを形成させることによって流入空気を増加させる。ただし、騒音が増大することが考えられ、その配慮が必要と細われる。

2) 器具排出管 管長が短いほうがサイホン作用の吸引力を弱めるので有利であるが、器具排水横管のこう配が急な場合には逆に不利になることもある。

3) トラップの封水深 封水深を大きくすることによって流出脚内の水量を増加させる。この場合、トラップの自浄能力について検討する必要がある。

4) 器具排水横管 トラップと同径の場合、こう配を緩くすることによって戻り水の量を多くすることができる。こう配を急に、かつ内径をトラップより大きくすることによりウォータープラグの形成を阻止する。この方法はヨーロッパで採用されており、さらに各種の配管形態について有効性を検討する必要がある。

5) 器具排水立て管 わが国では器具排水横管より器具排水立て管を主とした配管形態が多く、実際の配管を想定した実験が必要である。本実験の配管形態では不利になっているが、組合せによってはエアプラグの阻止や戻り水の量を多くすることが期待される。

3.3 各種トラップの性能に関する実験

3.3.1 実験方法

実験装置を図-3.14に示す。実験に供した洗面器（オーバーフロー管開放）、残留封水深の測定方法および排水方法（器内の水は静止状態）は前実験と同様である。供試模型トラップを図-15に示す。P-1、S-1はガラス製、その他の模型トラップおよび排水管はアクリル製であ

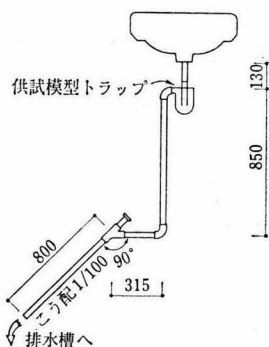


図-3.14 実験装置

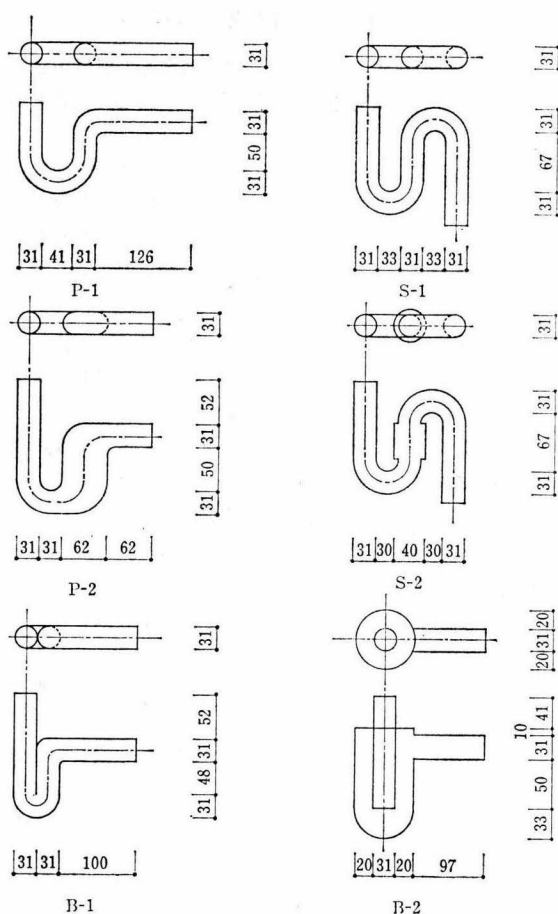
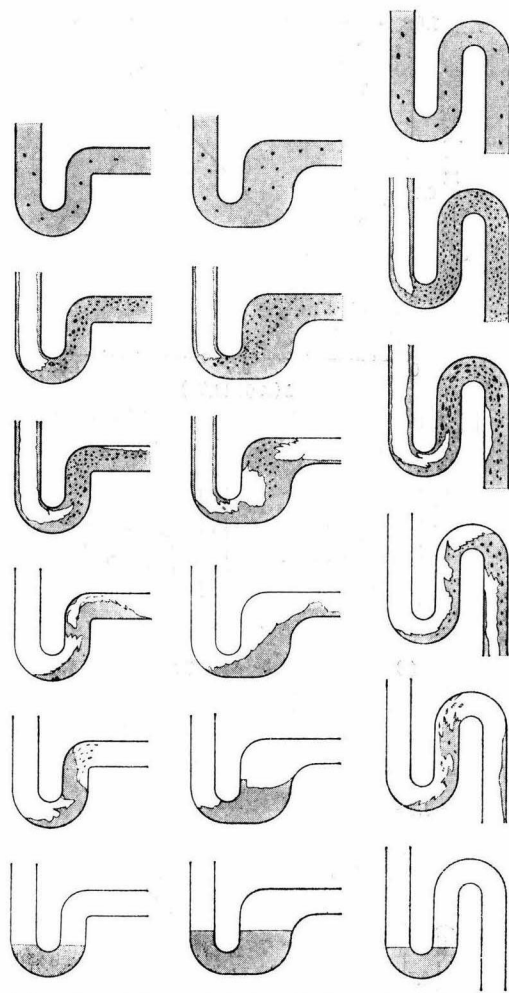


図-3-15 模型トラップ

る。P-2, S-2, B-2は主に流出脚容積の増加, B-1は流水抵抗の増大による残留封水量の増加を考慮したものである。各種模型トラップにつき5回の排水実験を行った。

3.3.2 実験結果と考察

(1) 管内の流動状態



☒-3.16 P-1 ☒-3.17 P-2 ☒-3.18 S-1

各種模型トラップの管内の流動状態の変化を図-3.16～図-3.21に示す。これらの様相の変化には、次の共通した特徴がみられる。

- i) 排水の初期においてはほぼ満流となる。
- ii) 排水の終了直前においては器具排出管内は環状流となり、流水末端はディップ付近まで降下する。一方、流出脚以後の排水管内は気泡流となる。
- iii) 空気がディップ部を通過し、流出脚内に空気塊（気泡より大きい、管断面いっぱいには広がらない空気の塊をいう）が形成される。
- iv) 流出脚内に残留している水が逆流し、わずかに移動した後、静止する。

以上の様相の変化過程から、残留封水深に最も影響を及ぼすのは、自己サイホン終了時における流出脚内に残留している水量であることが明らかである。この観点から、各種模型トラップの残留封水深に対する有効性を考

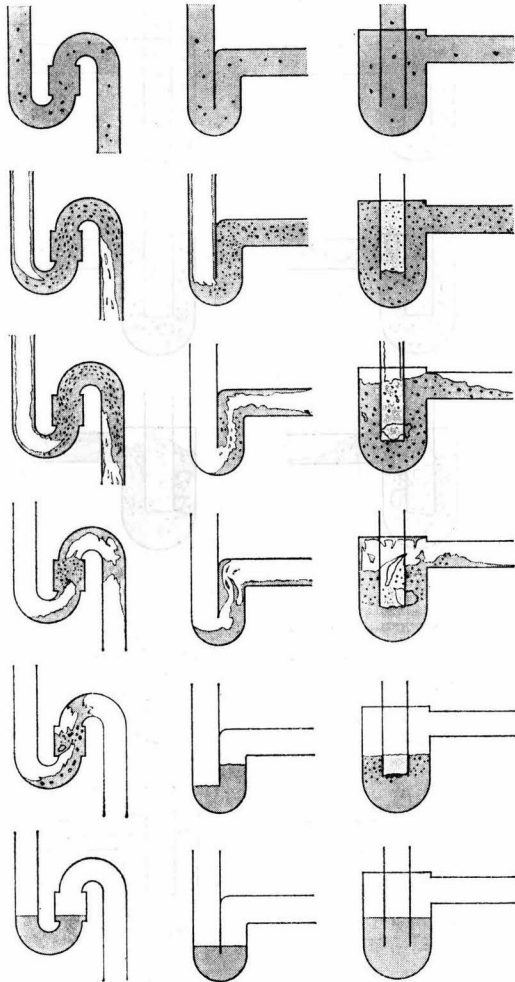


図-3.19 S-2 図-3.20 B-1 図-3.21 B-2

察すると、次になる。

(P-1) ディップ部を通過した流入空気が流出脚のほぼ全体に広がるために、脚内の残留水量は少なくなる。

(P-2) 流入空気は、流出脚の容積が大きいために脚全体には広がらない。ディップ側の水が流入空気によって押し出されるが、容積が大きいため P-1 より残留封水深は大きくなる。

(S-1) P-1 とほぼ同様の様相を示す。

(S-2) 基本的には S-1 と同様であるが、流入空気は拡大管全体には広がらず、管中心部を上昇し、拡大管部に水が残留することが異なる。

(B-1) 流入空気は微細な気泡となって流出脚全体に広がり、排水終了時に小さな空気塊が上昇する。

(2) 残留封水率

各種模型トラップの封水深、容積比率（流入脚容積に対する流出脚容積の比）および平均残留封水深、標準偏

表-3.2 残留封水率

模 型 トラップ	封水深 [mm]	容積比率	残留封水深 [mm]		残 留 封 水 率
			平均	標準偏差	
P-1	50	1.0	7	3.1	0.14
S-1	69	1.0	14	2.3	0.20
P-2	50	2.0	23	4.8	0.46
S-2	69	1.6	29	1.9	0.42
B-1	50	1.0	18	0.6	0.36
B-2	69	6.8	34	0.6	0.68

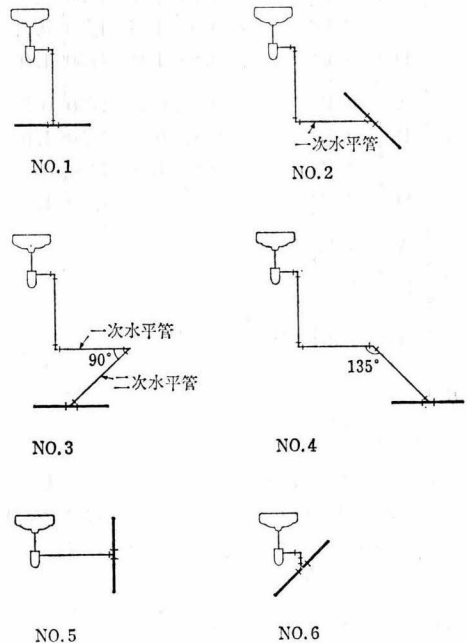


図-3.22 配管形態

差、平均残留封水率を表-3.2に示す。改良模型トラップは、模型P、Sトラップより残留封水率は大きな値になっており、特にB-2は最大値(0.68)を示している。B-1、B-2の標準偏差が著しく小さいがこれは微細な気泡の混入によって流れが安定化するものと考えられる。

以上の結果により、残留封水深の確保という観点からのみ判断すると、B-2は自己サイホン作用に対して十分優れた性能を持っているといえる。なお、B-2はボルトトラップと呼ばれ（以下、この名称を用いる）、ヨーロッパでは洗面器に多用されている。

3.4 ボルトトラップの性能に関する実験

3.4.1 実験装置と実験方法

各種配管形態を図-3.22にそれぞれの管長とこう配の組合せを表-3.3に示す。器具排出の管管長は130mm、排水横枝管および排水立て管の内径は50mm、それ以外

表-3.3 配管条件

No.	排水管	器具排水横管		器具排水立管	一次水平管		二次水平管	
		管長 [m]	こう配		管長 [m]	こう配	管長 [m]	こう配
1	A	0.12	—	0.85	—	—	—	—
2	A	0.12	—	0.85	0.5	1/50	—	—
	B	0.12	—	0.85	1.0	1/50	—	—
3	A	0.12	—	0.85	0.5	1/50	0.5	1/50
	B	0.12	—	0.85	0.5	1/50	1.0	1/50
	C	0.12	—	0.85	1.0	1/50	0.5	1/50
	D	0.12	—	0.85	1.0	1/50	1.0	1/50
4	A	0.12	—	0.85	0.5	1/50	0.5	1/50
	B	0.12	—	0.85	0.5	1/50	1.0	1/50
	C	0.12	—	0.85	1.0	1/50	0.5	1/50
	D	0.12	—	0.85	1.0	1/50	1.0	1/50
5	A	0.12	1/50	—	—	—	—	—
	B	1.0	1/25	—	—	—	—	—
	C	1.0	1/50	—	—	—	—	—
	D	1.0	1/100	—	—	—	—	—
6	A	0.12	—	—	—	—	—	—
	B	0.12	—	0.10	—	—	—	—

の排水管内径は30 mm である。排水管内の管末端は開放されており、排水槽へ排出される。配管形態No.1～4は壁体隠ぺいかつ床下配管、No.5, 6は壁体隠ぺい配管を想定したものである。ボトルラップは、前実験の B-2 を用いた。排水方法および測定方法は前実験と同様である。表-3.3に示す17種の配管方法につき5回の排水実験を行った。

3.4.2 実験結果と考察

(1) 管内の流動状態

各種の配管方法における管内の流動状態の変化は、図-3.23～図-3.26で代表される。No.1～4は、器具排水横管：120 mm、器具排水立管：850 mmに固定し、それ以後の配管を変化させたものであるが、いずれも図-3.23と同様の流動状態の変化を示す。これは、前実験の図-3.21とよく類似している。この種の配管形態であれば、常に図-3.23のようなパターンになることが推測される。No.5の場合は図-3.24のように多量の戻り水のあることが特徴である。No.5(B)は、器具排水横管のこう配が1/25であるため、エアプラグの大きさにばらつきがあることが観察された。No.6(A)の場合は、図-3.25のように気泡の数が少なく、また流入する空気塊が小さいためにエアプラグが形成されない。No.6(B)の場合は、図-

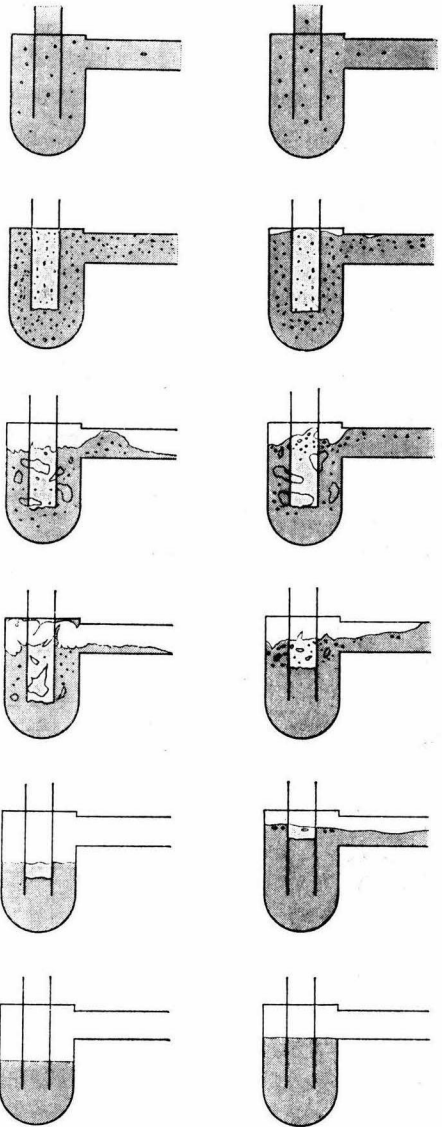


図-3.23 No.1～4

図-3.24 No.5

3.25 とほぼ同様の様相を示すが、図-3.26のようにエアプラグが形成されることが異なる。

(2) 残留封水率

平均残留封水深、標準偏差、平均残留封水率を表-3.4に示す。No.5(A), (C), (D)とNo.6(A)の場合は残留封水率が1.00、No.5(B)とNo.6(B)がそれぞれ0.90と0.96になっている。これは前節で述べたように多量の戻り水によって再封されることによる。したがって、No.5, 6のような器具排水横管を主体にした配管方法は自己サイホン作用に対して非常に安全な方法と言える。

No.1～4は、わが国の一般的な配管方法であるが、

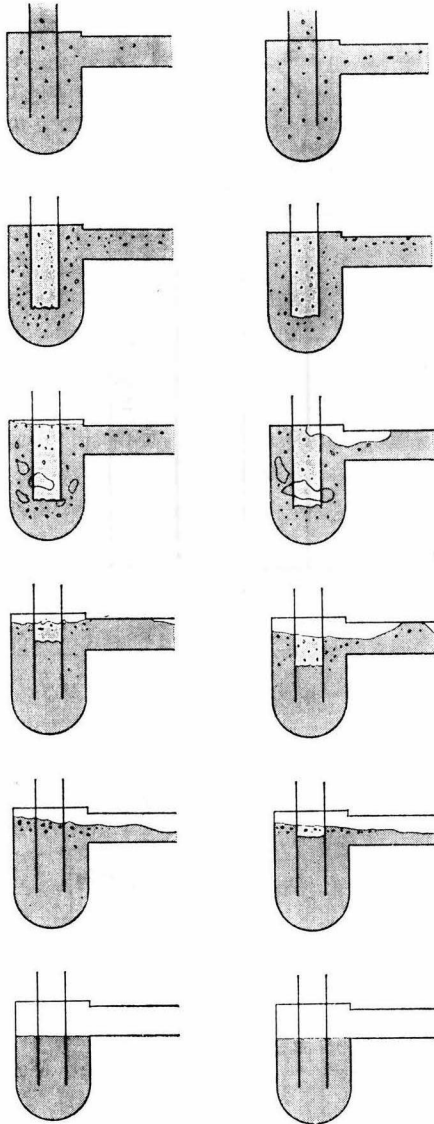


図-3.25 No.6(A)

図-3.26 No.6(B)

それらの残留封水率は0.62～0.72の間にあり、また標準偏差が1.8mm以下の小さな値になっている。

以上の結果より、通常の配管形態であればボトルトラップを用いることにより自己サイホン作用に対して有効な残留封水深を得ることができると考えられる。

3.5 結 論

本実験の範囲において、器具トラップを含む排水管内に生じる自己サイホン作用の特性、防止方法およびボトルトラップの有効性をまとめると、次になる。

(1) 管内の流動状態からみた自己サイホン作用の特性

一般に、自己サイホン作用を生じる管内の流動状態は

表-3.4 残留封水率

配 管 方 法		残留封水深〔mm〕		平均残留率
		平 均	標準偏差	
1	A	35	1.5	0.70
2	A	36	1.7	0.72
	B	35	1.0	0.70
3	A	35	1.3	0.70
	B	31	1.5	0.62
	C	34	1.3	0.68
	D	32	1.8	0.64
4	A	32	1.3	0.64
	B	33	1.1	0.66
	C	34	1.8	0.68
	D	33	1.1	0.66
5	A	50	0.0	1.00
	B	45	1.8	0.90
	C	50	0.0	1.00
	D	50	0.0	1.00
6	A	50	0.0	1.00
	B	48	4.8	0.96

複雑な様相の変化を示すが、その過程には共通した特徴がみられる。残留封水深には、サイホン終了時における流出脚内の残留水と器具水平管内の戻り水の量が大きく寄与する。前者には空気塊、後者にはエアプラグが密接に関係する。

(2) 残留封水深の増加方法

配管方法について、配管の構成要素のそれぞれには有効性が認められるが、組合せによっては逆に封水損失が増加することもあり、効果が不安定である。ただし、器具排水管（主にトラップ水平管または器具排水横管）のサイズアップは期待できそうであり、実験による検討が望まれる。

トラップの形状について、基本的には流出脚の容積の増加による効果が大いだが、流水抵抗を増すことも有効である。

(3) ボトルトラップの有効性

本実験の各種配管方法においては、0.62以上の残留封水率が確保され、かつ安定している。器具排水横管を用いる配管方法の場合、戻り水の量が非常に多くなり、ほぼ完全に再封される。

以上の検討結果より、自己サイホン作用によって大きな封水損失が懸念される丸底形の洗面器にボトルトラップを装置すれば、自己サイホン作用に対して有効な残留

封水深の得られることが期待される。しかし、トラップの性能評価は、自己サイホン作用のほかに誘導サイホン作用やトラップの自浄能力などを含めて、総合的に検討されなければならない。ボトルトラップは、Pトラップに比べて誘導サイホン作用に対しては優れ、自浄能力に対しては劣ることが予想される。トラップの自浄能力と2スケールの除去方法の検討が今後の課題である。

第4章 蒸 発

4.1 序

蒸発による封水損失の対策としては、NPCに“蒸発する恐れのある床排水トラップの水封部は深封水構造のものか、または認許の衛生器具からかもしくはその目的で設計され認可された自動補水装置により補水されなければならない”の条文がある¹⁾が、我国および他の国々では具体的な対策は講じられていない。封水の蒸発現象には排水・通気システム内の流体現象が大きな影響を及ぼさないので、システムの構成による防止方法は効果が期待できず、上記の条文に示されている方法と人為に頼る方法以外に有効な対策はないと思われる。しかし、どのような条件のときにどの程度の蒸発損失があるかに関してはよく知られていない。従って、それらの対策を講じる場合の基準が不明確なので、それらも確実な方法とはいえない。

蒸発現象には多くの要因が関係する。よく扱われる湖沼や貯水槽の蒸発に関しては、主に水面の空気の水湿度と風速がわかれば必要精度の蒸発量を算定する方法が幾つか提案されている²⁾。

トラップ封水の場合、水面が器具排水口より下方にある（以下、下方水面という）ことと蒸発面積の小さいことが特徴である。これまで幾つかのトラップ封水の蒸発に関する実験が報告されているが^{3), 4)}、これらの結果は固有の条件下における結果であり、空気状態や器具排水管の長さや蒸発損失量との関係を示すには至っていない。

そこで本研究では、トラップを円筒容器に置き変えて、円筒容器の半径と水面から縁までの高さをパラメータとし、室内空気の状態とその蒸発量との関係を検討する。

4.2 2時間測定による蒸発実験

4.2.1 実験装置と実験方法

蒸発実験は、空気の水湿度と気流が調整できる装置を備えた恒温恒湿室で行うのが望ましいが、今回は一般の実験室を用いざるをえなかったため、次の方法をとった。

- ① 精度のよい天秤を使用し、できるだけ測定時間を

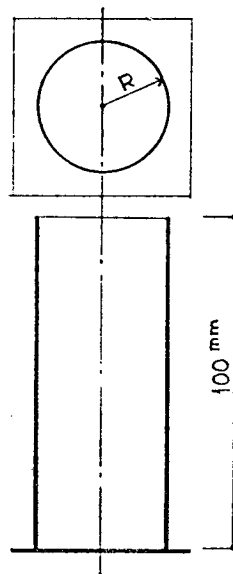


図-4.1 円筒容器

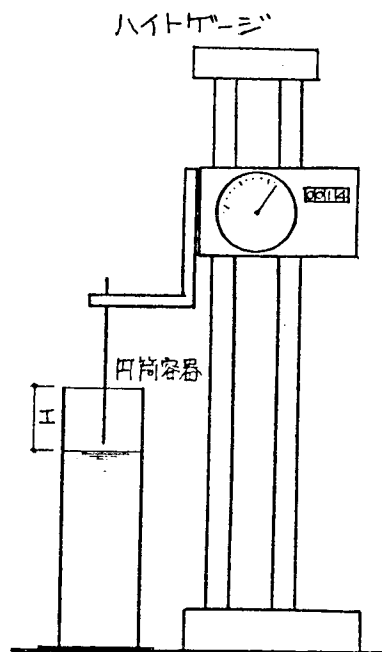


図-4.2 Hの設定

短くする。

- ② 一連の円筒容器の蒸発量をほぼ同時に測定する。
- ③ 気流は扇風機で生じさせるが、その風速は大きく変動する恐れがあるので、ほぼ定常の風速を発生できる風洞を用いて幾つかのサンプルを得る。

- (1) 円筒容器

供試円筒容器は、ステンレス製で図-4.1のような形状をもっている。曲げ加工であるため完全な円形ではなく、1～2 mm程度の歪みをもっている。

(2) 水面高さ H の設定

円筒容器の縁から水面までの垂直距離を水面高さと呼び、 H [mm]で表わす。 H は、図-4.2に示すハイトゲージを用いて設定した。

(3) 気流の発生と測定方法

気流は扇風機（羽根長さ30 cm）2台で発生させた。円筒容器の上端が扇風機のファン軸の高さになるように、かつ1 m/s以下の風速が得られるような位置に円筒容器を設置した（図-4.3）。風速の計測にはサーミスタ風速計を用い、円筒容器上端から10 cm上部の風速を主流速度としてペン書きレコーダに記録した。1 m/sに対して±50%程度の変動がランダムにみられるが、その測定時間における平均値を採用した。

(4) 温湿度と気圧の測定

温湿度はアスマン式通風乾湿計、気圧はフォルタン型水銀指示気圧計によって測定時間前後に計り、その平均値を採用した。

(5) 蒸発量の測定

供試円筒容器の全重量の2時間後の差を化学天秤（最小目盛：0.1 mg）によって計測した。

(6) 風洞を使用した実験

図-4.4に風洞を用いた実験装置の概略を示す。1 m/sの平均値に対してその変動分は10%程度であった。

(7) 実験 No. と実験条件

実験No.と実験条件を表-4.1に示す。同時測定数は5個とし、円筒容器半径 R と水面高さ H のいずれかを一定にして実験を行った。

4.2.2 実験結果と考察

(1) 自然対流（No.1～No.2）

H を一定にし、 R を変化させた場合の結果を図-4.5に示す。図の横軸は $R=25$ mmで規準化した半径比で表している。各 H における実線は $R=25$ mmのときの蒸発量 W_{25} を基準に $(R/R_{25})^{7/4}$ に比例する W を表わしている。破線は $(R/R_{25})^{3/2}$ に比例する W を表わしている。これより、 W はほぼ $R^{3/2} \sim R^{7/4}$ に比例することが明らかである。

R を一定にし、 H を変化させた場合の結果を図-4.6に示す。図の縦軸は、 $H=0$ のときの蒸発量 W_0 に対する各 H の W の比（減少率 c ）で表わしている。これより、 W は H が大きくなるにつれて減少する傾向を示すが、その減少率 c は H に関して一定ではなく、 R が大きいと緩和される傾向にあることが明らかである。

(2) 強制対流（No.3～No.4）

表-4.1 実験 No. と実験条件

実験 No.	実 験 条 件 [mm]			気流場所
	円筒半径 R	水面高さ H		
1-a	15, 20, 25, 30, 35	0	自然	実験室
1-b	〃	20		
1-c	〃	40		
1-d	〃	60		
1-e	〃	80		
2-a	15	0, 20, 40, 60, 80		
2-b	20	〃		
2-c	25	〃		
2-d	30	〃		
2-e	35	〃		
3-a	15, 20, 25, 30, 35	0	強制	
3-b	〃	20		
3-c	〃	40		
3-d	〃	60		
3-e	〃	80		
4-a	15	0, 20, 40, 60, 80		
4-b	20	〃		
4-c	25	〃		
4-d	30	〃		
4-e	35	〃		
5-a	20	0	風洞	
5-b	30	0		
5-c	30	40		

図-4.7は W と R の関係をみたもので、図の実線は W_{25} を基準に $(R/R_{25})^{3/2}$ に比例する W を示している。 W はほぼ $R^{3/2}$ に比例している。

図-4.8は減少率 c と H との関係をみたもので、図-4.6と同様の傾向を示している。そこで、減少率 c を次のように定義し、図-4.8の実験結果から実験式を導いた。

$$\dot{W}_k = c \dot{W}_0 \quad (4.1)$$

ここに、 \dot{W}_k : 下方水面における蒸発量 [kg/s]、 c : 減少率[—]、 \dot{W}_0 : 満水状態における蒸発量 [kg/s]

c が H が大きくなるに従って小さく、 R が大きくなるに

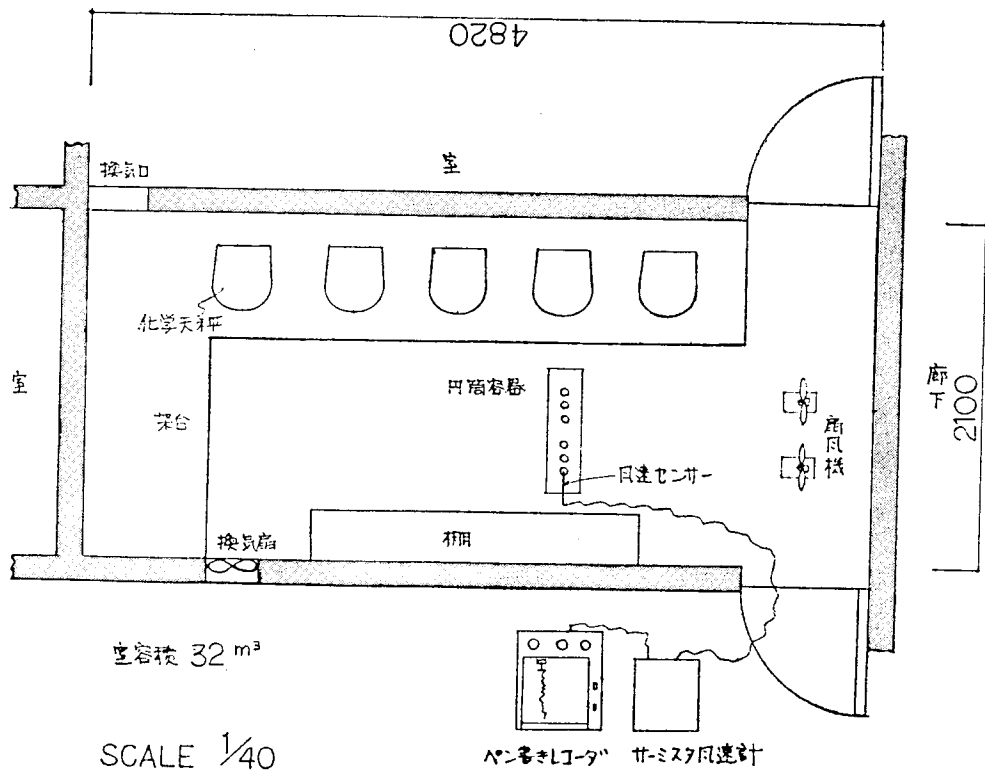


図-4.3 実験装置の概略

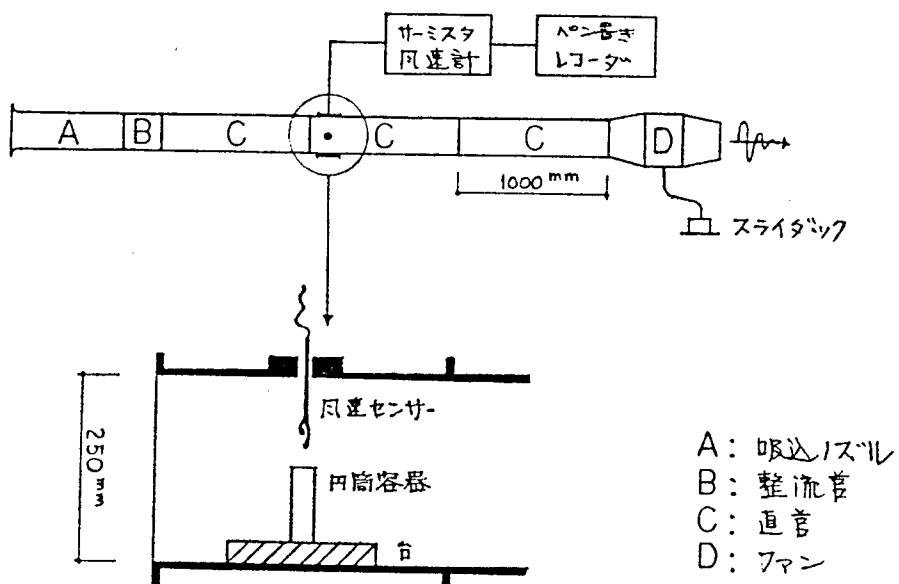


図-4.4 風洞を用いた実験の概略

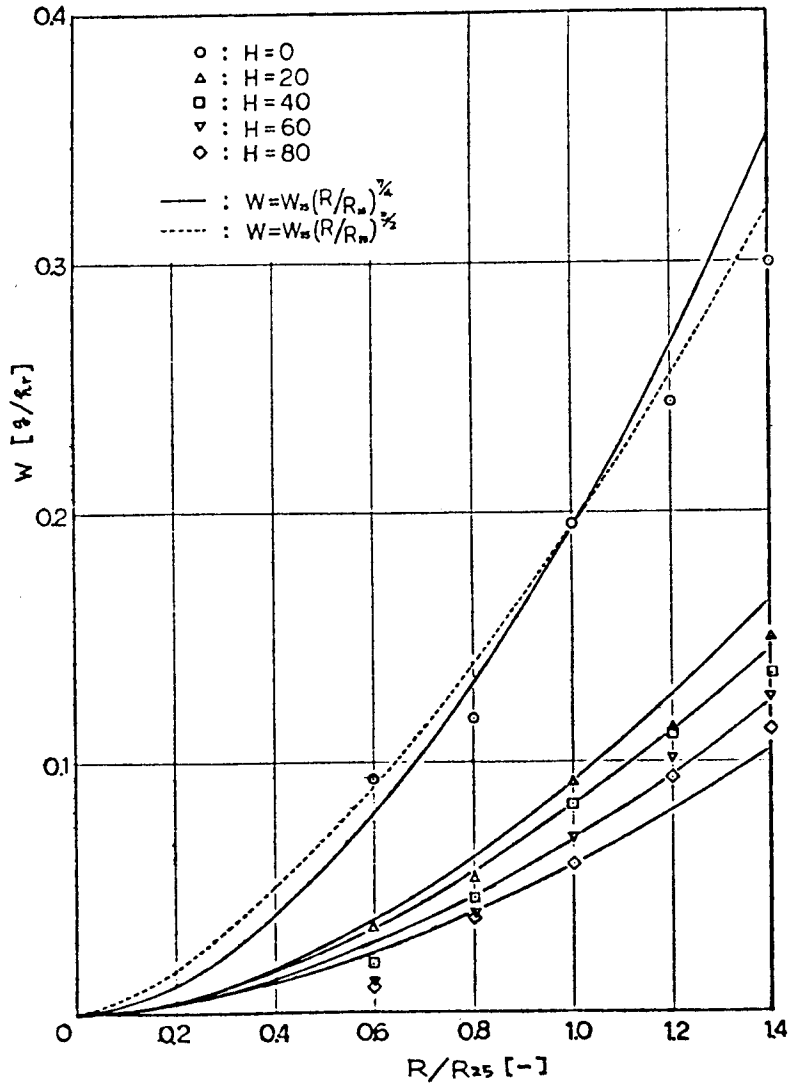


図-4.5 No.1-a ~ No.1-e

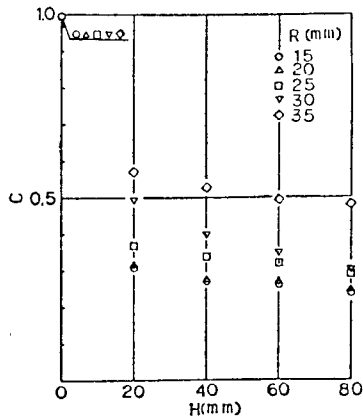


図-4.6 No.-a ~ No.-2-e

従って大きくなる傾向にあることと円筒容器の幾何学的な相似を考慮して,

$$c = f(R/H) \quad (4.2)$$

とみなし、実験結果をプロットすると図-4.9になる。これを近似したのが次式である。

$$c = 0.565 \tan(R/H)^{1/2} \quad (4.3)$$

4.3 蒸発式

4.3.1 自然対流

水平平板における自然対流の場合の熱伝達率は次式で表わせる⁵⁾。

層流状態 ($10^5 < GrPr < 2 \times 10^7$) のとき,

$$Nulm = 0.54(GrPr)^{1/4} \quad (4.4)$$

ここに, $Nulm$: 代表長さ l を用いた平均 ヌセルト数,

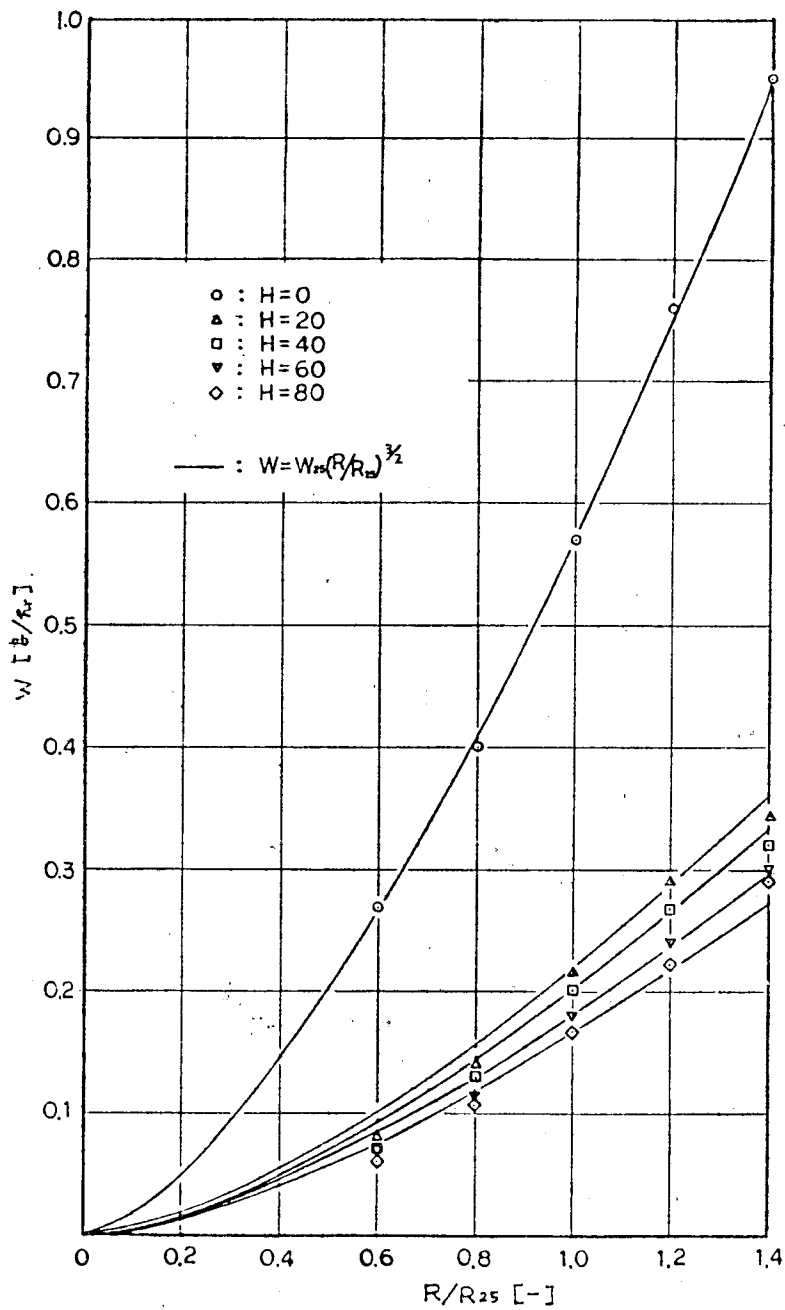


図-4.7 No.3-a ~ No.3-e

Gr_l : 代表長さ l を用いたグラスホフ数, Pr :
プラントル数

$$h_m = 0.54 \frac{\lambda}{2R} (Gr_{2R} Pr)^{1/4} \quad (4.5)$$

水平円板の場合, 代表長さを直径 ($2R$) とすれば, (4.4) 式より,

ここに, h_m : 平均熱伝達率 [$\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$], λ : 熱伝導率 [$\text{Kcal}/\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$]

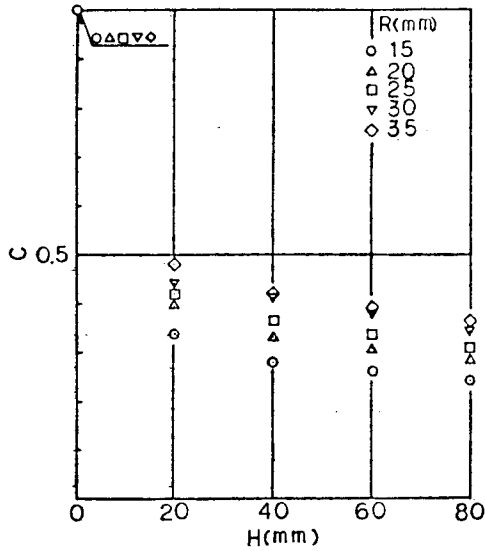


図-4.8 No.4-a ~ No.4-e

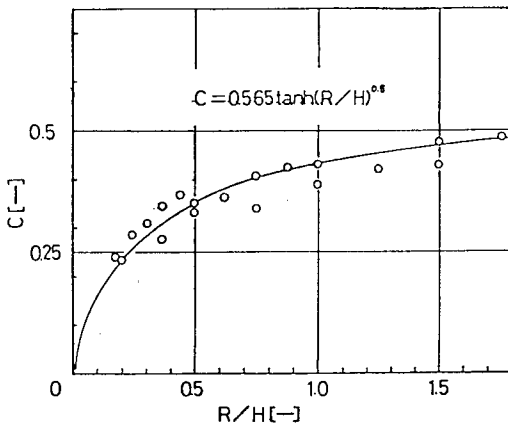


図-4.9 CとR/Hとの関係

円板から単位時間に流出する熱量 \dot{Q} [Kcal/s] は次式で示される。

$$\dot{Q} = 0.27\pi R \lambda (Gr_0 Pr)^{1/4} (\theta_w - \theta_\infty) \quad (4.6)$$

ここに、 θ_w : 壁面上の気温[°C], θ_∞ : 遠方の気温[°C]
一方、水蒸気濃度が1に比して小さいとき、熱伝達と物質伝達の間には次の対応変換の関係が成り立つ⁵⁾。

$$\theta \leftrightarrow w, \quad \frac{\lambda}{c_p} \leftrightarrow D, \quad \frac{\dot{Q}}{c_p} \leftrightarrow \dot{W} \quad (4.7)$$

ここに、 c_p : 比熱 [Kcal/kg°C], ρ : 密度 [kg/m³],
 w : 水蒸気の質量濃度[-], D : 水蒸気の拡散係数[m²/s], \dot{W} : 単位時間当りの水蒸気質量流量[kg/m³/s]

(4.66) 式に (4.7) 式の変換を行えば、(4.9) 式が導かれる。

$$\dot{W} = 1.426 R^{7/4} D^{3/4} g^{1/4} \nu^{-1/4} \rho$$

$$\cdot \left(\frac{\rho_\infty}{\rho_w} - 1 \right)^{1/4} (w_w - w_\infty) \quad (4.8)$$

ここに、 ν : 動粘性係数 [m²/s], 添字 w : 壁面, 添字 ∞ : 遠方

(4.9) 式中の θ_w, D, ρ, w に関しては次より求める。

θ_w は、次の熱的平衡関係から決定する⁵⁾。

$$\dot{Q} = WL \quad (4.9)$$

ここに、 L : 蒸発潜熱 [Kcal/kg]

(4.9) 式に (4.6) 式と (4.8) 式を代入して整理すると、

$$\frac{\lambda(\theta_\infty - \theta_w)}{L} = \rho D (w_w - w_\infty) \quad (4.10)$$

D に関しては⁵⁾,

$$D = 0.22 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1.75} \quad (4.11)$$

ここに、 T : 混合気の絶対温度 [°K], T_0 : 標準状態の絶対温度 [°K]

ρ に関しては⁶⁾,

$$\rho = \frac{100}{0.4555g(x + 0.622)T} \quad (4.12)$$

ここに、 x : 絶対湿度 [kg/kg']

w に関しては⁵⁾,

$$w = \frac{p}{P} \frac{0.6217}{1 - 0.3783p/P} \quad (4.13)$$

ここに、 p : 水蒸気分圧 [mmHg], P : 全圧 [mmHg]

他の物性値は、物性表から膜面温度を用いて求める。

4.3.2 強制対流

気流中におかれた水平平板の熱伝達は、層流の場合次式で表わされる⁵⁾。

$$\frac{Nux}{Re x^{1/2}} = 0.332 Pr^{1/3} \quad (4.14)$$

ここに、 Nux : 位置 x における局所ヌセルト数, $Re x$:

長さ x を用いたレイノルズ数

(4.14) 式より、局所熱伝達率 h_x [Kcal/m²·s·°C] は、

$$h_x = 0.332 \lambda \nu^{-1/2} u_\infty^{1/2} Pr^{1/3} x^{-1/2} \quad (4.15)$$

ここに、 u_∞ : 遠方における風速 [m/s]

水平平板を想定し、(4.15) 式を円全体について積分すれば、熱量 \dot{Q} は次式で表わされる。

$$\dot{Q} = 1.16 \lambda R^{3/2} Re_{2R}^{1/2} Pr^{1/3} (\theta_w - \theta_\infty) \quad (4.16)$$

(4.16) 式に (4.7) 式の変換を行えば、

$$\dot{W} = 1.641 R^{3/2} \rho \nu^{-1/2} u_\infty^{1/2} D^{2/3} (w_w - w_\infty) \quad (4.17)$$

(4.17) 式中の諸物性値に関しては、3.1節と同様の方法で求める。

3.3 蒸発式の検討

(1) 自然対流

4.2節で示した実験のうち、満水状態の実験結果と(4.8)式による計算結果を比較したのが図-4.10である。

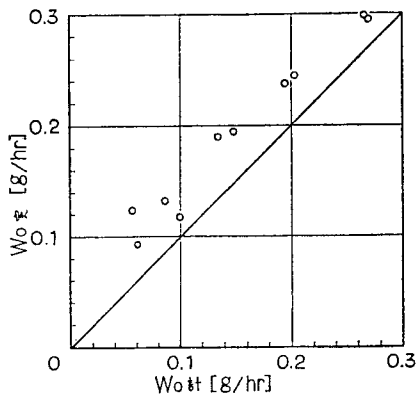
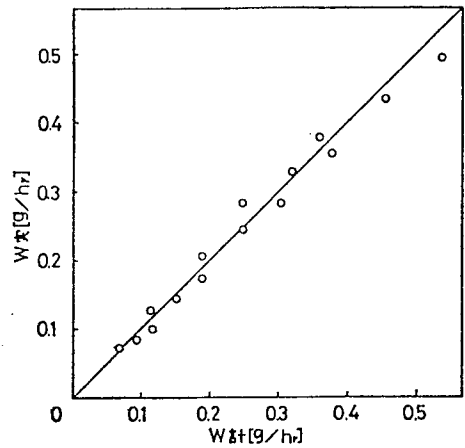

 図-4.10 $H=0$ における実験結果と計算結果の比較


図-4.12 実験結果と計算結果との比較

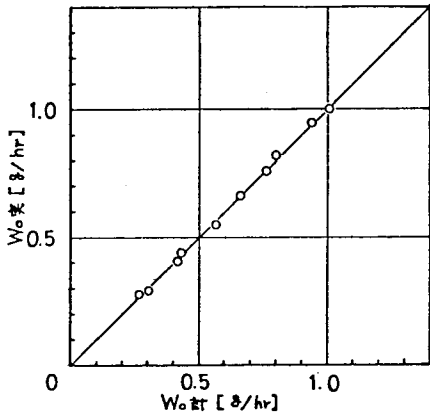


図-4.11 満水状態における実験結果と計算結果との比較

実験値に比べて計算値は、約7割になっている。これは、実験条件が完全な無風状態ではなく、0.03m/s程度の微風速が存在していたため、蒸発が促進された結果と考えられる。

(2) 強制対流

2節で示した実験のうち、強制対流かつ満水状態の実験結果と(4.17)式による計算結果を比較したのが図-4.11である。両者はよく一致している。

次に下方水面の場合について、実験結果と(4.1)式、(4.3)式および(4.17)式を用いて計算した結果の比較を図-4.12に示す。両者はよく一致している。従って、本実験の範囲では、気流中におかれた円筒容器からの蒸発量は、(4.1)、(4.3)、(4.17)式を用いて算定してもさしつかえないと考えられる。

4.4 封水の蒸発損失の計算例

4.4.1 計算方法

(1) トラップ封水

表-4.2 温湿度条件

タイプ	温湿度	月			
		12~3	4~6	7・8	9~11
I	t_i (°C)	20	t_0	28	t_0
	φ_i (%)	40	φ_0	60	φ_0
II	t_i (°C)	$\frac{20+t_0}{2}$	t_0	$\frac{28+t_0}{2}$	t_0
	x_i (kg/kg)	x_0	x_0	x_0	x_0

室内の洗面器に取り付けられたPトラップを対象とする。器具排水口からトラップ流入脚までは垂直管(管内径30mm)とし、排水口金具やオーバーフロー管はないものとする。封水深は50mm、排水口から封水面までの水面高さは12.0mmとする。

(2) 室内の空気状態

場所を東京に設定し、室内気候を2通りのタイプ、すなわち、[タイプI]; 当該室が空調されている場合、[タイプII]; 当該室は非空調で、隣接する室は空調が行われている場合を考える。その室内温湿度条件を表-4.2に示す。タイプI、IIとも、空調は一日中行われているとする。外気温湿度および気圧は、理科年表⁷⁾の月平均温度と月平均気圧の値を用いる。風速は、0.05m/sに設定する。

(3) 計算方法

トラップ封水の室内側の発生量は、上記の設定条件を与えた(4.1)、(4.3)、(4.17)式により算定する。排水管側の蒸発量については、その空気状態の性状が確認されていないので、ここでは室内側と同等の蒸発量があるものとして計算する。

4.4.2 計算結果と考察

図-4.13, 図-4.14にタイプⅠ, Ⅱの温湿度条件による1日当りの蒸発損失水位 L_h [mm/day] を示す。これより, L_h が最大となるのは冬期の暖房期間で0.69 mm, 次に夏期の冷房期間で0.61 mm となった。暖房時は低湿度が, 冷房時は高温が蒸発を促進させている結果を表わしている。タイプⅠとタイプⅡを比較すると, 当該室が空調されている方が非空調の場合より蒸発損失が多いことが明らかである。

約0.3~0.7mm/dayという計算結果の範囲は, Hawland や Gray の報告³⁾ に示されている数値: 0.94~1.2mm/day または0.85mm/day に近い。

4.5 結 論

本研究によって明らかになった円筒容器からの蒸発現象とトラップ封水の蒸発損失に対する防止方法をまとめると, 次になる。

(1) 円筒容器における蒸発の性状

気流の存在する場合, 蒸発量は円筒容器半径の3/2乗に比例する。また, 水面高さが大きくなるに従って蒸発量は減少するが, その減少割合は円筒容器半径に関して一定ではない。本実験の範囲 ($15\text{ mm} \leq R \leq 35\text{ mm}$, $H \leq 80\text{ mm}$) においては, 減少率と半径および水面高さの関係は (4.3) 式で表わされる。

(2) 蒸発式

自然対流の場合は (4.8) 式で表わすことができるが, 実験が完全な自然対流の環境でなかったために, 計算値との十分な比較検討はできなかった。しかし, 0.03m/s 程度の微気流であっても, 蒸発に関しては自然対流モデルを適用することは適切でないことが明らかとなった。

強制対流の場合は, 満水状態のとき (4.17) 式で表わせることを計算結果と実験結果のよい一致から確認した。同様に, 下方水面の場合は (4.1), (4.3), (4.17) 式で表わせることが明らかとなった。

(3) トラップ封水の蒸発損失

管内径30 mm, 水面高さ120 mm の洗面器用Pトラップを想定し, 当該室が空調されている場合と非空調の場合について蒸発損失水位を計算した結果, 空調されている場合の方が蒸発量は多く, 暖房時に約0.7 mm/day の最大値となった。本モデルはトラップを最も単純化した円筒容器内の水の蒸発を想定したわけであるが, ほぼ妥当な計算結果が得られたと思われる。さらに他の要因の影響を加味すれば, より実際に近い蒸発損失を予測することができるであろうが, 概略値を知る目的であれば, 本モデルの蒸発式を適用してもさしつかえないと思われる。

(4) 蒸発に対する破封防止方法

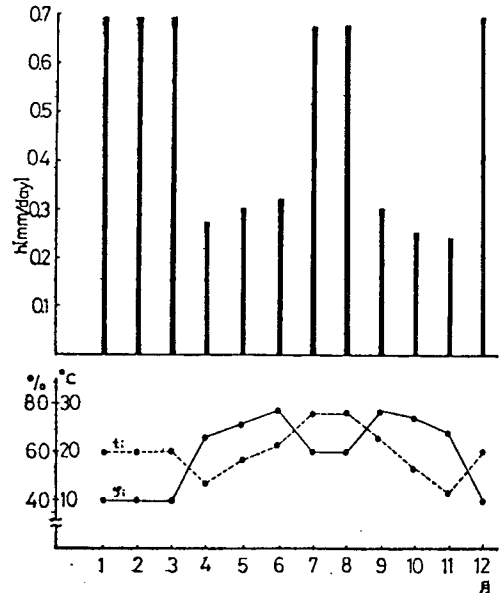


図-4.13 タイプⅠの計算結果

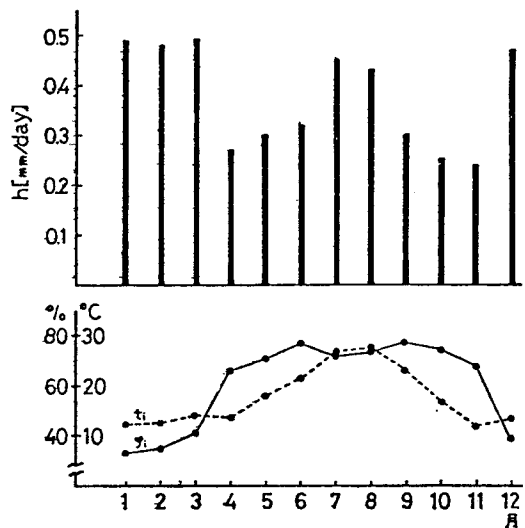


図-4.14 タイプⅡの計算結果

衛生器具および排水装置が適正な個数で適正に配置されていること, すなわち器具が長期にわたって使用されないような状態にしないことが基本にある。

排水・通気システムが許容残留水位(たとえば15 mm)を常時満足するように設計されていれば, その封水が蒸発によって破封する以前に水を補給すればよい。そのためには, どの程度の蒸発損失水位があるのかを知っておく必要がある。たとえば粗い試算ではあるが, 本研究の結果(東京, 暖房期間, 0.7mm/day)を用いれば, 破封

に至る期間は約5週間となる。すなわち、1ヶ月に1度の補水を実行すればよいことになる。

一方、トラップの封水深を大きくすることは蒸発による破封に対して有効な方策となる。我国の最小封水深50mmをドイツのように60mmとすれば、破封するまでに約2週間の余裕がみこまれる。また、(4.3)式から明らかのように、器具排水管の長さを長くすることは有効である。

他に、器具排水口に共栓を備える方法や自動補水装置を設けることも有効である。

第5章 結 論

以上の各章において、まず、我国の排水・通気システムの考え方とアメリカおよびヨーロッパ諸国のそれとの差違を考察し、我国の破封防止方法における不備または不合理な諸点を明らかにした。次に、トラップの破封を生じさせる主な原因である誘導サイホン作用、自己サイホン作用および蒸発の諸現象を明らかにし、それらの封水損失現象に対する破封の防止方法をトラップの形状に着目して検討した。

それらの結果を次にまとめて述べ、本論文の結論とする。

5.1 排水、通気システムとトラップ

排水・通気システムの設計法の問題点およびトラップとの関連性を要約すると次になる。

(1) 現在、各国で採用されている主な排水・通気システムは、アメリカで採用されているタイプとヨーロッパで採用されているタイプに大別される。前者は通気管を多用するシステムで、我国はこれに準じている。後者は経済的なシステムであり、近年我国に導入されるようになったが、従来の設計規準に適合しないために混乱が生じている。

(2) 臭気の防止方法、すなわちトラップ封水を保持するための保護方法が、排水・通気システムの設計法の基軸になっている。

(3) トラップ封水を損失・破封させる原因としては、誘導サイホン作用、自己サイホン作用および蒸発があるが、それらに対する防止方法は各国によって異なっている。その影響範囲がシステム全体にかかわる誘導サイホン作用の場合、我国とアメリカは主に通気管の多用によって解決しているのに対して、ヨーロッパはトラップ自身の防止効果を重要視し、通気管を簡略化している。システムの一部(特に丸底形の洗面器)にかかわる自己サイホン作用の場合、アメリカは各個通気管の設置、ヨーロッパはボルトトラップの使用で解決しているが、我国は何ら対策が用意されてい

ない。蒸発に関しては、各国ともほとんど対策は講じられていない。

(4) 排水・通気システムの性能を評価するためには、基準となるトラップの性能を明確にする必要があり、またトラップの性能を向上させることによって、ヨーロッパのシステムのように、特に通気システムを簡略化できる。

(5) 諸封水損失現象に関する研究蓄積は少なく、システムやトラップの性能を評価するための資料はほとんどないのが現状であり、まずそれらの現象を解明することが必要である。排水・通気システムの性能評価基準としては、誘導サイホン作用に対してのみ、許容圧力値 ($\pm 25\text{mmAq}$ 以内) が規定されているが、これは管内圧力変動と封水変動との動的関係から検討されるべきである。

5.2 諸封水損失現象の特徴

(1) 誘導サイホン作用

静的負荷の場合は、流入脚中の封水面がトラップのデューッ面付近まで降下すると必ずあぶくが発生し、それ以上に封水面は降下しない。従って、通水部と流出脚部に残留している水量がトラップに確保されるので、破封は生じない。動的負荷の場合は、作用圧力によってあぶくの発生状況が異なり、許容圧力値以内であっても破封することがある。すなわち、実際の排水・通気システム内に生じる圧力変動の卓越したパワースペクトルがトラップ封水の固有振動数の範囲 (約 $1.0\sim 3.0\text{ Hz}$) に存在し、共振現象を生じる恐れがある。破封の条件は、封水の変動速度(破封臨界速度)で代表され、その値が大きいほど破封は生じにくい。また、連続的な負荷に対しては、減衰が大きいほど封水損失は少ない。異径トラップは同径トラップに比べて、破封臨界速度と減衰比とも小さく、破封しにくい形状である。

(2) 自己サイホン作用

器具排水は、気液混相流で、その流動状態は複雑に変化する。その過程で生じる自己サイホンによる封水損失は、排水終了時におけるトラップ内に残留している水の状態によって決まる。すなわち、流出脚内の水量とその水中に含まれる気泡の総体積によって残留水封深が決定される。残留水量は流入脚に対する流出脚の容積比に比例して大きくなり、また気泡の総体積は流水速度が小さいほど少なくなる。供試 B-2トラップ (図-3.15) を使用すれば、通常の配管形態と排水状態であれば約6割以上の残留封水深が確保される。

(3) 蒸発

水面から管縁までの高さが大きくなるに従って蒸発量は減少するが、その減少割合は管半径に関して一定では

排水用トラップの破封防止に関する研究

表-5.1 破封防止に有効なトラップ形状の基本寸法

封水損失現象	トラップ用途	形状要素	従来寸法	提案寸法	参 考 形 状
誘導サイホン 作用	すべての衛生 器具	H [mm]	50~67	55~67	従来の形状に準じ る。P, S トラッ プドラムトラッ プワントラップ、逆 ワントラップ、袋 トラップ等
		A_1/A_0 [-]	0.3~1.0	0.5~1.0	
		A_2/A_1 [-]	0.5~1.0	1.0~8.0	
自己サイホン 作用	洗面洗 器	A_1/A_0 [-]	1.0	0.5~0.7	従来 P, S はトラ ップ 提案形状はボトル トラップ
		A_2/A_1 [-]	1.0	5.0~8.0	
蒸 発*	床 排 水	H [mm]	50~55	60~67	従来の形状に準じ る。

* 床排水用トラップは無論であるが、排水間隔が長期にわたる恐れのある器具の場合
は、排水口に共栓を装備すること

L: 基準封水面から排水口
までの管長

H: 封水深

A_1 : 流入脚断面積

A_0 : 通水路断面積

A_2 : 流出脚断面積

なく、管半径が大きくなるほど緩和される。この実験結
果に理論的検討を加えて導いた蒸発式によって計算した
洗面器用のトラップ蒸発損失水位は、東 京 の 場 合 最 大
0.7mm/day であった。

5.3 破封防止に有効トラップ形状

破封防止に有効なトラップの形状は、容積比の大きい
異径トラップにすることが基本にある。現在、我国で採
用されているトラップは容積比が1.0以下であり、それ
らの性能は一定でなくかつ劣悪であるといえる。一方、
トラップの形状は、この耐破封性能以外に、器具の用途
と排水特性および建築的要求を加味して検討されなけれ
ばならない。トラップの耐破封性能を明確にしたこと
は、少なくとも現在困難とされている排水・通気システ
ムの性能評価基準を設定することが可能になる。

以上の本研究の結果を踏まえて、破封防止に有効なト
ラップ形状を表-5.1に提案する。表に示す形状寸法は最
低要求であるが、これを具備したトラップを各器具に採
用すれば、複雑な通気システムの簡略化と排水管管径の
縮小が期待できる。

謝 辞

本論文は、6年間の大学院在学中に行った研究成果を
まとめたものである。

研究当初から一貫して丁寧なる御指導を賜った篠原隆
政教授に心から感謝します。

博士課程の指導教授である徳永勇雄教授並びに修士課
程の指導教授である狩野芳一教授からは貴重な御助言を
いただきました。貝塚正光助教授からは、実験と解析に

関して丁寧なる御指導をいただきました。洪忠憲教授か
らは、管内圧力変動のスペクトル解析に関して貴重な御
助言をいただきました。謹んで感謝します。

また、給排水・衛生設備の勉強会を通じて有益な御助
言をいただいた武蔵工業大学工学部紀谷文樹教授、排水
実験と計算機の便宜をはかっていただき適切な御助言を
いただいた東京大学工学部鍵田元康助教授並びに塚越信
行技官に記して感謝の意を表します。

また、研究に御協力をいただいた49年~54年の篠原研
究室ゼミナール学生諸氏に記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

第1章

- 1) 建設省：建設省告示第1597条、給排水設備技術基
準、1976
- 2) 篠原隆政：給排水・衛生設備通史(1)~(19)、建築設
備と配管工事、日本工業出版、1976~1979
- 3) 空気調和・衛生工学会：給排水・衛生設備の実務
の知識、1971
- 4) 空気調和・衛生工学会：給排水・衛生設備の実務
の短識、1977
- 5) British Standards Institution: British Standard
Code of Practice CP304 Sanitary Pipework above
Ground, 1968
- 6) Deutschen Normenausschuß: DIN 1986 Grundstü-
cksentwässerungsanlagen, 1972
- 7) L'association Française de Normalisation: Norme
Française, 1965

- 8) Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft: Leitsätze für Abwässer-Installation, 1966
 - 9) Dansk Ingeniørforening: Tegninger Forskriften Afløb fra Ejendome, 1972
 - 10) Haing Demergian: Square-Root Method for Determining the Design Load in a Plumbing System Plumbing Engineer, Vol. 78, No.1, 1978
 - 11) V.T. Manas: National Plumbing Code Handbook (1957), McGraw-Hill Book Company
 - 12) 空気調和・衛生工学会: 空気調和・衛生工学便覧 II, 1967
 - 13) 空気調和・衛生工学会: 空気調和・衛生工学会規格, 給排水設備規準 HASS-206, 1976
 - 14) 空気調和・衛生工学会: 空気調和・衛生工学会規格, 給排水設備規準 HASS-206, 1976
 - 15) 篠原隆政: 排水用トラップの一考察, 給排水設備研究 Vol.2, No.2 (1979), 理工評論出版
 - 16) H.E. Babbitt: Plumbing (1960), McGraw-Hill Book Company
 - 17) J. Gooden: Domestic Sanitation (1967), Estates Gazette Limited
 - 18) H. Charlent: Traite de Plomberie
 - 19) Alexander Steffen: Grosses Handbuch für Installateure Heizungsbauer Klempner Band 1 (1963) Fachbuchverlag DR. Pfanneberg & Co. Gissen
 - 20) 小川誠耳: 衛生工事の排水と通気そのⅡ (1964), 日本管工事工業協会
- 第2章
- 1) J. Christensen: Characteristic of Traps, CIB W62 Symposium Paper, 1973
 - 2) 松平秀雄・小林義一: 排水トラップ中の水の動特性 (第一報), 空気調和・衛生工学会論文集 No.3 (1977)
 - 3) 浅野良晴・高橋紀行・紀谷文樹・小林陽太郎・松井昌幸: トラップ封水の挙動の数値解析, 空気調和・衛生工学会論文集 No.10, 1979
 - 4) 本間仁・安芸皎一: 物部水理学 (1975), 岩波書店
 - 5) 田島清瀬: 振動の工学 (1978), 産業図書
 - 6) 大崎順彦: 地振動のスペクトル解析入門 (1978) 鹿島出版会
 - 7) 日野幹雄: スペクトル解析 (1978), 朝倉書店
 - 8) 得丸英勝: 振動論 (1974), コロナ社
 - 9) 篠原隆政・貝塚正光・坂上泰助: トラップ封水の変動特性に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 1976
 - 10) T. Shinohara, M. Kaizuka, K. Sakaue: Dynamic Characteristic of the Trap Seal, CIB W62 Symposium Paper, 1977
 - 11) 篠原隆政・貝塚正光・坂上恭助: トラップ封水の変動特性に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集 No.8, 1978
 - 12) 坂上恭助・篠原隆政・貝塚正光: 排水管内圧力変動のスペクトル解析 (その1), 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 1979
- 第3章
- 1) V.T. Manas: National Plumbing Code Handbook (1957), McGraw-Hill Company
 - 2) 小川誠耳: 衛生工事の排水と通気そのⅡ (1964), 日本管工事工業協会
 - 3) A.F.E. Wise: A Review of Some Fluid Mechanics Aspects of the Subject, CIB W62 Symposium Paper, 1973
 - 4) 塚越修行・松尾陽: 衛生器具の排水特性測定について, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 1970
 - 5) 金杉憲幸・紀谷文樹・川崎伸二・青木一義: 衛生器具における給排水の関連性に関する研究 (その1), 日本建築学会関東支部研究報告集, 1976
 - 6) 金杉憲幸・紀谷文樹・青木一義: 衛生器具における給排水の関連性に関する研究 (その2), (その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1977, 1978
 - 7) 浅野良晴・高橋紀行・紀谷文樹・小林陽太郎・松井昌幸: トラップ封水の挙動の数値解析, 空気調和・衛生工学会論文集 No.10, 1979
 - 8) J. Gooden: Domestic Sanitation (1967), Estates Gazette Limited
 - 9) 赤川浩爾: 気液二相流 (1974), コロナ社
 - 10) 篠原正光・坂上恭助: 器具トラップの自己サイホン作用に関する研究 (その1), (その2), (その3), 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 1977, 1978, 1978
- 第4章
- 1) V.T. Manas: National Plumbing Code Handbook (1957), McGraw-Hill Book Company
 - 2) 井上宇市: 水面よりの水の蒸発, 空気調和・衛生工学 Vol.36, No.1, 1976
 - 3) 小川誠耳: 衛生工事の排水と通気Ⅰ (1964), 日本管工事工業協会
 - 4) 安部照, 藤村欽哉: 排水通気系統の実験的研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 1978

排水用トラップの破封防止に関する研究

- 5) 甲藤好郎：伝熱概論（1977），養賢堂
- 6) 平山直道・杉浦乾・本橋茂守：工業熱力学（1977）
産業図書
- 7) 東京天文台編：理化年表（1978），丸善
- 8) 篠原隆政・貝塚正光・坂上恭助：トラップ封水の
蒸発作用に関する研究（その1），空気調和・衛生工学会学術講演会論文集，1979
- 9) 坂上恭助・篠原隆政・貝塚正光：トラップ封水の
蒸発に関する研究（その2），空気調和・衛生工学会学術講演会論文集，1979